

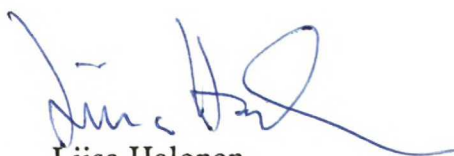
TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Sähkötekniikan osasto

Anu Alasuvanto

## VALOKATTEISTEN TILOJEN VALAISTUKSEN KEHITTÄMINEN

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 15.4.1992.

Työn valvoja



Liisa Halonen

Työn ohjaaja

Sakari Nikkanen

18737

TKK SÄHKÖTEKNIIKAN  
OSASTON KIRJASTO  
OTAKAARI 5 A  
02150 ESPOO

Tekijä: Anu Alasuvanto

Työn nimi: Valokatteisten tilojen valaistuksen kehittäminen

Päivämäärä: 15.4.1992

Sivumäärä: 124

Osasto: Sähkötekniikan osasto

Professori: Svt-18 Sähkölaitos- ja valaistustekniikka

Työn valvoja: Apulaisprofessori Liisa Halonen

Työn ohjaaja: Tekniikan lisensiaatti Sakari Nikkanen

Valokatteisen tilan valaistus koostuu päivänvalosta ja keinovalosta. Päivänvalo on hyvälaatuinen ja tehokas valonlähde. Päivänvalon avulla voidaan luoda virkistävä ja mielenkiintoinen näköympäristö. Päivänvaloa voidaan hyödyntää korvaamalla sillä keinovalon käyttöä. Päivänvalon aiheuttamista ongelmista suurimmat ovat suoran auringonvalon aiheuttama häikäisy sekä lämpöhäviöt ja liikalämpeneminen suurten, huonosti lämpöä eristävien lasipintojen kautta.

Valaistusolosuhteita tarkasteltaessa tulee kyetä määrittämään ulkona oleva päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus. Päivänvalon tuottamaan valaistusvoimakkuuteen sisällä voidaan vaikuttaa käytetyllä päivänvalojärjestelmällä, valoaukkojen suuntauksella, valokatemateriaalilla, aurinkosuojaus menetelmillä, katteen puhtaanapidolla sekä päivänvalon siirtomenetelmillä.

Päivänvalon ja keinovalon yhdistämiseen kuuluu keinovalon valonlähteiden sovittaminen päivänvaloon sekä keinovalon säätöstrategian suunnittelemisen. Sopivat keinovalonlähteet riippuvat valaistuksen käyttöajasta sekä tilan toiminnoista. Säätöstrategian suunnittelussa määrätään käytettävät keinovalon säätötavat ja toteutetaan säätö alueittain päivänvalon käyttäytymisen perusteella siten, että valaistuksesta tulee riittävä sekä tasainen.

Sovellusesimerkkinä on käytetty Vantaan Myyrmäkeen rakennettavan Mega-Myyri -nimisen liikekeskuksen valokatteista kaupakäytävää. Superlite 1.0.1 tietokoneohjelmalla lasketun päivänvalon jakautumisen perusteella on käytävälle tehty säätöanalyysi ja valittu tilaan sopiva säätöstrategia.

Valokatteisten tilojen käyttöalue on hyvin laaja. Toiminta valokatteisessa tilassa voi olla pitkä- tai lyhytaikaista, näkötehtävät voivat olla vaativia tai yksinkertaisia. Valaistuksen on mukauduttava tilan tehtäviin ja näkökohteisiin soveltuvaksi niin päivänvalon kuin keinovalonkin osalta.

AVAINSANAT: valokatteisen tilan valaistus, päivänvaloon vaikuttavat tekijät, päivänvalon ja keinovalon yhdistäminen, päivänvalon hyötykäyttö



Author:	Anu Alasuvanto	
Name of the thesis:	Developing Lighting in Atriums	
Date:	15.4.1992	Number of pages: 124
Faculty:	Electrical Engineering	
Professorship:	Power Systems and Illumination Engineering	
Supervisor:	Associate Professor Liisa Halonen	
Instructor:	Licentiate of Technology Sakari Nikkanen	
<p>Lighting in atrium buildings consists of daylight and artificial light. Daylights good quality and efficiency as lightsource often stays unused. With daylight it is possible to create a refreshing and interesting visual environment. It is possible to benefit from daylight, if it is used to replace artificial light. The biggest problems with daylight are glare from sunlight and poor thermal properties of glazing.</p> <p>In analyzing daylighting it's important to know the illumination that daylight produces outside. Daylight inside depends on the used daylighting concepts, direction of windows, glazing, sunprotection, cleaning of glazing and daylight transportation methods.</p> <p>Combining the daylight and artificial light is matching the different lightsources together and designing a proper control system for artificial light. The lightsources that may be used with daylight depend on when or for what purpose they are used. The control strategy is based on how daylight distributes in building.</p> <p>As an example of daylight analysis there has been used a shopping center named Mega-Myyri that is to be built in Myyrmäki, in Vantaa. Daylight distriburion of the shopping centers glazed boulevard is calculated with Superlite 1.0.1 program. The calculation has been the base on control analysis and the choose of control strategy.</p> <p>There are atriums in many kinds of buildings. Depending on the purpose, that atria is designed for and the visual tasks the requirements for lighting differ a lot. The requirements apply to both daylight and artidicial light.</p>		
KEYWORDS: Light in Atriums, daylighting control, lighting control		

## ALKULAUSE

Tämän työn tekeminen oli mahdollista Sähkövuo OY:n lahjoittaman apurahan turvin. Haluan kiittää Sähkövuon ja PI-yhtiöiden aina kiinnostunutta sekä auttamaan valmista henkilökuntaa. Työn ohjaajalle, Sakari Nikkaselle, osoitan kiitokset arvokkaasta opastuksesta. Apulaisprofessori Liisa Halosta kiitän saamastani avusta ja ohjeista. Työtä tehdessäni olen saanut tietoa monelta taholta. Kiitokset kaikille ja erityisesti Julle Oksaselle. Paljon kiitoksia myös miehelleni Timolle, joka jaksoi tiskata.

Helsingissä 15.4.1992

*Edun edustaja*

# SISÄLLYS

JOHDANTO .....	1
1. VALOKATTEINEN TILA .....	2
2. PÄIVÄNVALO VALOKATTEISESSA TILASSA .....	4
2.1 EDUT JA HAITAT .....	4
2.1.1 Päivänvalon edut .....	4
2.1.1.1 Päivänvalon ominaisuudet .....	4
2.1.1.2 Psykologiset ja fysiologiset tekijät .....	6
2.1.1.3 Energiansäästömahdollisuudet .....	7
2.1.1.4 Muita etuja .....	8
2.1.2 Päivänvalon haitat .....	9
2.1.2.1 Häikäisy .....	9
2.1.2.2 Keinovalon säätö .....	9
2.1.2.3 Lämpöhäviö ja liikalämpö .....	10
2.1.2.4 UV-säteily .....	10
2.1.2.5 Muita haittoja .....	11
2.2 VALAISTUSVOIMAKKUUS ULKONA .....	11
2.3 VALAISTUSVOIMAKKUUS SISÄLLÄ .....	16
2.3.1 Katteen ja ympäristön vaikutus .....	16
2.3.2 Aurinkosuojaus .....	22
2.3.2.1 Aurinkosuojauksen tarpeellisuus häikäisyn kannalta .....	22
2.3.2.2 Aurinkosuojauksen tarpeellisuus UV-säteilyn kannalta .....	24
2.3.2.3 Aurinkosuojauksen tarpeellisuus lämpösteilyn kannalta .....	24
2.3.2.4 Suojauskeinot .....	24
2.3.2.5 Yhteenveto aurinkosuojauksesta valokatteisessa tilassa .....	29
2.3.3 Valokatemateriaalit .....	30
2.3.3.1 Lasit .....	31
2.3.3.2 Muovit .....	32
2.3.3.3 Valokaterakenteet .....	33
2.3.3.4 Valoa läpäisevät eristeet .....	35
2.3.3.5 Valonläpäisyä säättävät materiaalit .....	36
2.3.3.6 Yhteenveto materiaaleista .....	39
2.3.4 Valokatteen huolto .....	41
2.3.5 Päivänvalon siirto .....	42
2.3.5.1 Valohyllyt ja muut valoa heijastavat ratkaisut .....	43
2.3.5.2 Linsit ja prismat .....	45
2.3.5.3 Valoputket .....	47
2.3.5.4 Päivänvalon siirto valokatteisessa tilassa .....	50



2.3.6	Sisälle säteilevän päivänvalon määrittäminen .....	51
2.3.6.1	Laskentamenetelmät .....	51
2.3.6.2	Superlite 1.0.1 .....	53
2.3.6.3	Pienoismallit .....	55
2.4	KEHITYSTARPEET JA -MAHDOLLISUUDET .....	56
2.5	YHTEENVETO .....	58
3.	KEINOVALO VALOKATTEISESSA TILASSA .....	60
3.1	VALAISTUSVAATIMUKSET .....	60
3.1.1	Valaistusvoimakkuustaso .....	60
3.1.2	Valon väriominaisuudet .....	60
3.1.3	Valaistuksen tasaisuus .....	61
3.1.4	Häikäisy .....	61
3.1.5	Varjonmuodostus .....	61
3.1.6	Keinovalon säätö .....	62
3.1.7	Valonlähteet .....	62
3.1.8	Tilan sisustuksen väritys .....	62
3.2	VALONLÄHDE .....	62
3.3	PÄIVÄNVALON JA KEINOVALON YHDISTÄMINEN .....	65
3.3.1	Päivänvalon saatavuus ja tilan jakaminen säätöalueisiin .....	65
3.3.2	Mittauspisteen valinta .....	68
3.3.3	Säätötavat .....	70
3.3.3.1	Päälle/pois-säätö .....	70
3.3.3.2	Portaittainen säätö .....	71
3.3.3.3	Jatkuva säätö .....	73
3.3.3.4	Säätöanalyysi .....	75
3.3.4	Säädin .....	76
3.3.5	Ohjaus .....	77
3.3.5.1	Manuaalinen vai automaattinen ohjaus? .....	77
3.3.5.2	Automaattinen ohjaus .....	78
3.3.6	Valaistusenergian kulutuksen laskeminen .....	79
3.3.7	Kustannusten laskeminen .....	83
3.3.8	Yhteenveto säätöjärjestelmän valinnasta .....	84
3.4	VALAISTUKSEN TOTEUTTAMINEN .....	86
3.4.1	Valaistustavat .....	86
3.4.2	Valaisimet .....	87
3.4.3	Asennukset .....	88
3.4.4	Valaistushuolto .....	90
3.4.5	Esimerkkejä valaistuksen toteuttamisesta .....	90
3.4.5.1	Koskikeskus, Tampere .....	90
3.4.5.2	Helsinki-Vantaan lentoasema .....	91
3.4.5.3	Ateneumin taidemuseo .....	92
3.5	KEHITYSTARPEET JA -MAHDOLLISUUDET .....	94
3.6	YHTEENVETO .....	94
4.	ERILAISTEN VALOKATTEISTEN TILOJEN VALAISTUS .....	97
4.1	MYYMÄLÄT .....	97

4.2	VALOKATTEISET AULAT .....	97
4.3	SISÄPIHA .....	98
4.4	VALOKATTEINEN TILA TYÖTILANA .....	98
4.5	KYLPYLÄT JA UIMAHALLIT .....	99
4.6	SAIRAALAT .....	99
4.7	MUSEOT JA TAIDEGALLERIAM .....	100
4.8	VIEREISET TILAT .....	100
4.9	TEOLLISUUSTILAT, VARASTOT .....	101
5.	SOVELLUSESIMERKKINÄ OLEVAN LIIKEKESKUKSEN VALOKATTEISTEN	
	TILOJEN VALAISTUS .....	102
5.1	KÄSITELTÄVÄT TILAT .....	102
5.2	VALAISTUSSUOSITUKSET .....	103
5.3	TILAN PÄIVÄNVALO-OLOSUTEET .....	103
	5.3.1 Auringon aiheuttama häikäisy .....	103
	5.3.2 Valaistusvoimakkuus ulkona .....	105
	5.3.3 Valaistusvoimakkuus sisällä .....	106
5.4	KEINOVALON JA PÄIVÄNVALON YHDISTÄMINEN .....	110
	5.4.1 Säättöanalyysi .....	110
	5.4.2 Kustannukset .....	116
	5.4.2 Keinovalaistuksen toteutus .....	118
6.	YHTEENVETO .....	120
	LÄHTEET .....	121
	LIITE 1 AURINGONKULKUKAAVIOT	
	LIITE 2 VALOKATEMATERIAALIEN SPEKTREJÄ	
	LIITE 3 PÄIVÄNVALOSUHDEMENETELMÄ	
	LIITE 4 SÄTEILYN SIITYMISMENETELMÄ	
	LIITE 5 ALUEKUVA MYYRMÄEN ALUEKESKUKSESTA	
	LIITE 6 POHJAPIIRUSTUS MEGA-MYYRIN ENSIMMÄISESTÄ KERROKSESTA	
	LIITE 7 POHJAPIIRUSTUS MEGA-MYYRIN TOISESTA KERROKSESTA	
	LIITE 8 POHJAPIIRUSTUS MEGA-MYYRIN VIIDENNESTÄ KERROKSESTA	
	LIITE 9 NÄKYMÄ MEGA-MYYRIN KAUPPAKÄYTVÄSTÄ	

LIITE 10 NÄKYMÄ MEGA-MYYRIN KESKUSAULASTA

LIITE 11 POIKKILEIKKAUS MEGA-MYYRIN KAUPPAKÄYTVÄSTÄ

LIITE 12 KAUPPAKÄYTVÄN PÄIVÄNVALOSUHTEIDEN LASKENNASSA  
KÄYTETYT LÄHTÖARVOJEN TIEDOSTOT

LIITE 13 VUODENAIKOJA EDUSTAVIEN KUUKAUSIEN PÄIVÄNVALON  
KÄYTETTÄVYYSKERTOIMET ERI SÄÄTÖTAVOILLE  
SÄÄTÖALUEITTAIN



## JOHDANTO

Valokatteiden suosio on ollut viime vuosikymmeninä suuri. Valokatteiden sovellusalueita tuntuu olevan rajattomasti toimistorakennuksista, hotelleista, kylpylöistä ja päiväkodeista aina yksityisiin omakotitaloihin. Rakennuksen lämpötaloudelle valokate on ollut turmio. Suurien lasipintojen kautta pääsee talvella lämpö karkuun ja kesällä aurinko lämmittää tilan tuskastuttavan kuumaksi. Valokate on korotettu kuitenkin statussymboliksi, ylellisyydeksi, jonka tuomiin lisäkustannuksiin on yltäkylläisyyden aikana ollut varaa. Nyt, kun energian säästäminen ja taloudellinen rakentaminen ovat jälleen ajankohtaisia, on ryhdytty pohtimaan valokatteisen tilan energiatalouden parantamista. Keinoina ovat muunmuassa arkkitehtisuunnittelu, jossa auringon lämpövaikutukset otetaan huomioon katteen koossa ja suuntauksessa, valoa läpäisevän materiaalin lämmöneristävyyden parantaminen sekä luonnonvalon hyväksikäyttö keinovaloa korvaavana valonlähteenä.

Tämän työ tarkoituksena on tarkastella valokatteisen tilan valaistukseen vaikuttavia tekijöitä: päivänvalon saatavuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia ja keinovalon toteutusmahdollisuuksia. Päivänvaloa voidaan hyödyntää korvaamalla sillä keinovalon käyttöä. Ajatus on vanha, mutta sitä on nykyisen helppokäyttöisen sähkövalon aikoina vähän hyödynnetty. Luonnonvalon hyödyntäminen on ollut passiivista siten, että keinovalaistus on jätetty sytyttämättä, jos päivänvaloa on tuntunut olevan riittävästi. Päivänvalon käyttöä ei ole mitenkään seurattu, eikä sitä ole pyrittykään ottamaan huomioon esimerkiksi valaistuksen sähkönkulutuksen arvioinneissa. Valokatteisissa tiloissa päivänvalon hyötykäyttö olisi perusteltua, onhan valokatteiden perusideana tuoda sisätiloihin runsaasti päivänvaloa. Nykyisin tyydytään kuitenkin vain valokatteiden ja luonnonvalon olemassaoloon.

Työn tuloksia on sovellettu Vantaan Myyrmäkeen rakennettavan Mega-Myyri -nimisen liikekeskuksen valokatteisten tilojen päivänvalo-olosuhteiden ja valaistusmahdollisuuksien analysoimiseen. Lisäksi on käsitelty käyttötarkoitukseltaan erilaisten valokatteisten tilojen asettamia erityisiä valaistusvaatimuksia ja -tapoja.

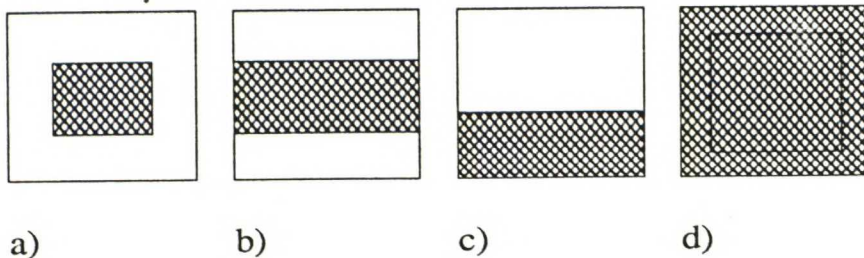
## 1. VALOKATTEINEN TILA

Valokatteinen tila on ylhäältä luonnonvalolla valaistu tila. Valokattamisen historia ulottuu aina antiikin Roomaan, jossa asuintalojen ja palatsien huoneet usein sijoitettiin valoisan keskitilan, atriumin ympärille. Suurten valokatteiden rakentaminen tuli mahdolliseksi 1700- ja 1800-lukujen vaihteessa valurautarakenteiden ja lasin valmistuksen teollistumisen myötä. Ensimmäiset nykyaikaiset valokatteiset tilat olivat kasvihuoneita. Kasvihuoneiden jälkeen ryhdyttiin kattamaan kauppakujia ja rautatieasemia. Uuden rakentamistavan hyvänä puolena oli nopea pystytys ja valoisa, säältä suojattu sisätila. Suomessa tehtiin 1880-luvulla suunnitelmat Helsingin Vanhan kauppakadun kattamiseksi, mutta suunnitelmaa ei ole vielääkään toteutettu. Varhaisimmat toteutetut valokatteet olivat pörssi (1911) ja Liittopankki (1927).

Valokatteiden suosio laski maailmansotien jälkeen kokeakseen jälleen viimeisten vuosikymmenien aikana uuden tulemisen. Vaikuttaa siltä, että valokatteesta on tullut jonkinlainen pitkäaikainen muoti-ilmiö, joka pitää löytyä jokaisesta rakennuksesta. Valokatteita rakennetaan erityisesti julkisiin uudisrakennuksiin, mutta viimeaikoina yhä enemmän myös asuinrakennuksiin. Vanhoihin rakennuksiin, joissa valokatetta ei ennestään ole ollut, lisätään valokatteita saneerauksen yhteydessä. Valokatteen suosio perustuneen runsaaseen luonnonvalon määrään, sen ympäristöä elävöittävään ja viihtyisyyttä lisäävään vaikutukseen. Valokate avartaa ja luo sisätilaan säältä suojatun, mutta kuitenkin ulkotilan kaltaisen tilan.

Muodon perusteella valokatteiset tilat voidaan jakaa neljään ryhmään:

- valopihaan, jossa vain katto on valoa läpäisevää materiaalia
- valokujaan, joka yhdistää kaksi samansuuntaista rakennuksen osaa
- valokuistiin, joka liittyy rakennuksen johonkin ulkoseinään
- valokupuun, joka kattaa rakennuksen kokonaan



Kuva 1.1 Valokatteiset tilat voidaan jakaa muodon perusteella neljään ryhmään: (a) valopihaan, (b) valokujaan, (c) valokuistiin ja (d) valokupuun. /1/

Sisäilmaston perusteella valokatteinen tila voi olla ilmastoitu tai ei-ilmastoitu. Ei ilmastoitu valokatteinen tila voi olla vain sateelta suojattu, seinistä avoin katos tai suljettu, ilmastoinniltaan ja lämmitykseltään täysin kontrolloimaton tila.



Ilmastoitua valokatteinen tila voi olla puoli-ilmastoitu tai täysilmastoitu. Puoli-ilmastoidun tilan sisäilmastolle asetetaan matalampi vaatimustaso kuin täysilmastoidun tilan sisäilmastolle, jonka vaatimukset määritellään vastaavan sisätilatyypin vaatimusten perusteella.

Käyttötarkoituksen perusteella valokatteinen tila voidaan jakaa

- liikennetiloihin, jotka toimivat liikenneväylinä ja jossa oleskeleminen on lyhytaikaista
- tiloihin, joissa ihmiset oleskelevat pitkiäkin aikoja ja liikkuvat, kuten urheiluhallit, näyttelyt, hotellien aulat
- tiloihin, joissa ihmiset oleskelevat pitkiä aikoja, mutta pysyvät paikoillaan kuten toimistoissa ja ravintoloissa
- kasvihuoneisiin

Valokatteisen tilan liittymisellä ympäröiviin tiloihin on merkitystä valon-, lämmön- ja ilmansiirron kannalta. Valokatteiset tilat voivat liittyä ympäröiviin tiloihin

- täysin avoimesti, jolloin tilojen välillä ei ole fysikaalisia esteitä
- toiminnallisen yhteyden, kuten avattavien ikkunoiden, varjostimien tai ilmaventtiilien kautta
- mekaanisen yhteyden, kuten koneellisen ilmastoinnin kautta
- täysin eristetyksi, jolloin tilojen välillä ei ole minkäänlaista yhteyttä

/1,2/



## 2. PÄIVÄNVALO VALOKATTEISESSA TILASSA

Ennen sähkölampun keksimistä oli päivänvalolla keskeinen merkitys rakennusten valaisemisessa. Ikkunat toimivat paitsi valon myös lämmönlähteinä, ilmanvaihto- ja jäähdytysvälineinä sekä ulko- ja sisäilman yhdistäjinä. Valaistuksen laatuvaatimusten kohoamisen myötä on sähkövalo viimeisen sadan vuoden aikana syrjäyttänyt päivänvalon. Koska ilmastointikin voidaan nykyisin hoitaa koneellisesti ja koska ikkunat huonontavat rakennuksen lämmöneristystä, on ikkunapinta-alaa pyritty ennemminkin vähentämään kuin kasvattamaan. Ikkunoita on pitkään käytetty vain sisustuksellisenä ja viihtyisyyttä lisäävänä tekijänä sen sijaan, että päivänvaloa valonlähteenä olisi pyritty hyödyntämään.

### 2.1 EDUT JA HAITAT

#### 2.1.1 Päivänvalon edut

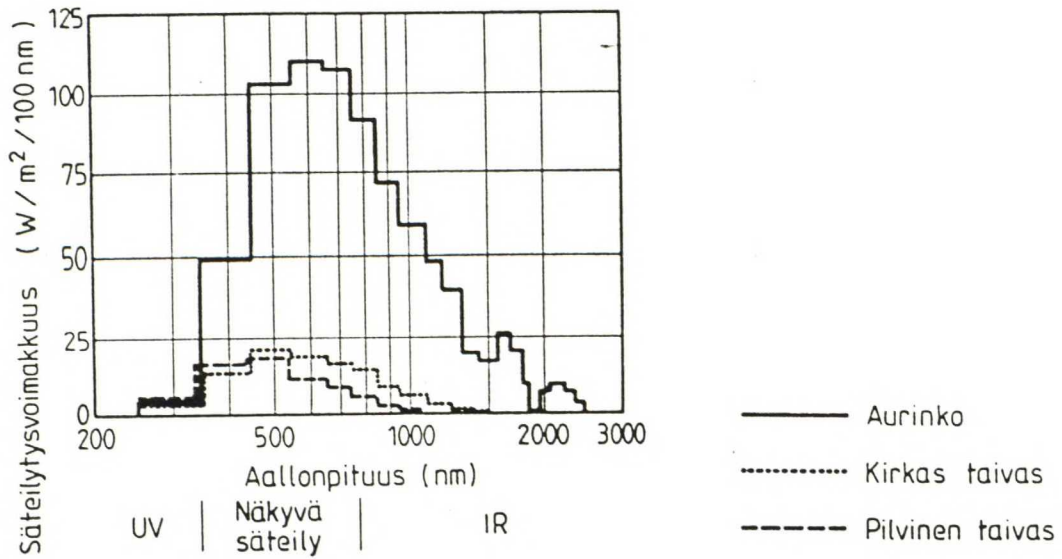
##### 2.1.1.1 Päivänvalon ominaisuudet

Päivänvalon voimakkuus, väri ja tulosuunta vaihtelevat jatkuvasti. Päivänvalon voimakkuus ulkona tietyssä pisteessä riippuu muunmuassa auringon korkeudesta, ilman absoluuttisesta kosteudesta, otsonipitoisuudesta ja likaisuusasteesta, pivitysyydestä ja ympäristön valoesteistä. Pilvisyyden mukaan valaistusolosuhteet voidaan jakaa kolmeen luokkaan: pilviseen, kirkkaaseen ja osittain pilviseen taivaaseen.

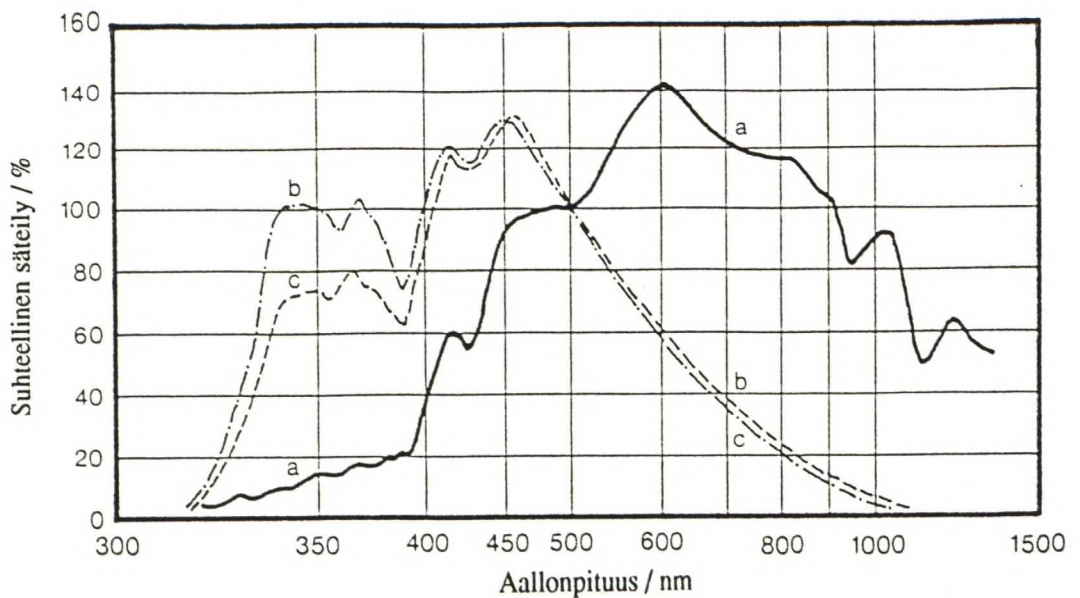
Tiettyyn pisteeseen tuleva päivänvalo sisältää kolme komponenttia: suoran auringonvalon, taivaan hajasäteilyn ja maasta ja ympäristöstä heijastuneen auringon ja taivaansäteilyn. Suoran auringonvalon komponentti on esiintyessään muita komponentteja huomattavasti suurempi (kuva 2.1). Suurimman taivaansäteilyn voi tuottaa osittain pilvinen taivas, sillä pilvien luminanssi voi nousta hyvinkin suureksi. /4,5/

Päivänvalon spektri kattaa koko näkyvän valon aallonpituusalueen (kuva 2.2). Päivänvalon jatkuvasta spektristä johtuen valon väriominaisuudet ovat hyvät. Väriominaisuuksiin kuuluvat valon värintoisto-ominaisuudet ja värilämpötila.

Valon värintoisto-ominaisuuksista riippuu, minkälainen värivaikutelma eri esineistä ja materiaaleista saadaan. Esineen väriä päivänvalossa pidetään sen todellisena värinä.



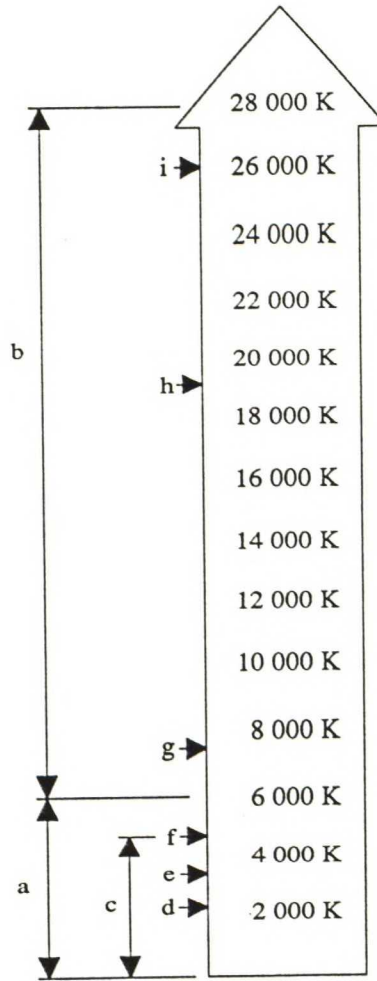
Kuva 2.1 Auringonsäteilyn sekä kirkkaan ja pilvisen taivaan säteilyn säteilyvoimakkuudet aallonpituuden funktiona. /6/



Kuva 2.2 Päivänvalon suhteellinen spektrijakautuminen. Käyrä a esittää auringonvaloa, b taivaanvaloa  $45^\circ$  auringosta ja c taivaanvaloa  $145^\circ$  auringosta. /3/

Valon värilämpötila vaikuttaa tilan viihtyisyyteen ja ihmisten mielentilaan. Kuvassa 2.3 on esitetty eri päivänvalojen värilämpötiloja. Suurin värilämpötila on kirkkaalla, sinisellä taivaalla. Auringon ollessa matalammalla värilämpötila on matalampi ja valo punertavampi. Ympäristöstä heijastuneen valon väriominaisuudet riippuvat tulevasta säteilystä ja heijastavien pintojen väreistä.

/3,5,6,7/



Kuva 2.3 Erilaisten päivänvalojen värilämpötiloja. (a) tyypillinen auringon-valon värilämpötila-alue, (b) tyypillinen taivaansäteilyn värilämpötila-alue, (c) auringonvalo kahden tunnin ajan auringonnousun jälkeen ja ennen auringonlaskua, (d) 15 minuuttia auringonnousun jälkeen, (e) tunti auringonnousun jälkeen, (f) kaksi tuntia auringonnousun jälkeen, (g) CIE:n tasaisesti pilvinen taivas, (h) tyypillinen pohjoinen taivas, (i) erittäin kirkas pohjoinen taivas korkealla. /3/

#### 2.1.1.2 Psykologiset ja fysiologiset tekijät

Päivänvalon psykologisia ja fysiologisia vaikutuksia ei ole pystytty toistaiseksi tyhjentävästi selvittämään, mutta selvää on, että yhteys rakennuksen ulkopuoliseen maailmaan on merkittävä useimmille ihmisille. Ihmisiä kiinnostaa mitä ulkona tapahtuu tai millainen sää ulkona on. Mielellään myös rentoutetaan silmän lihaksia kohdistamalla katse kauas.

Ihmisillä on erilaisia mielipiteitä siitä, mitä ikkunoista tulisi näkyä, mutta



useimmiten ollaan sitä tyytyväisempiä, mitä vaihtelevampi näköala on. Tyytyväisyyteen vaikuttavat myös ikkunan muoto, koko ja sijainti, joihin puolestaan vaikuttavat huoneen ominaisuudet ja ulkopuolinen ympäristö. Pieniinkin ikkunoihin ollaan tyytyväisiä, jos ne ovat sopivan muotoisia ja oikein sijoitettuja.

Päivänvalon tunnustetaan lisäävän rakennuksen laatua, sillä sen näkömukavuuteen vaikuttavat tekijät tunnetaan joko tietoisesti tai alitajuntaisesti. Varsinkin talvella pidetään päivänvalon lämpövaikutuksia miellyttävinä. Keinovalolla ei myöskään kyetä jäljittelemään päivänvalon jatkuvaa vaihtelua, joka koetaan piristävänä ja ympäristöä elävöittävänä. /3,5,6,7,8/

Valon fysiologisista vaikutuksista on todettu ruskettuminen ja vitamiinien muodostus. Päivänvalo vaikuttaa myös hormoonitoimintaan, muunmuassa melatoniinin eli väsymyshormoonin erittymiseen. Pimeän vuodenajan masennus on tuttu monille ihmisille. Pimeämasennusta voidaan hoitaa valohoidolla keinovalonkin avulla, mutta vaadittava valon määrä on suhteellisen suuri (yli 2 000 lx). /9,10/

Päivänvalon psykologiset vaikutukset saattavat muodostua taloudellisesti merkittäviksi, sillä työntekijät muodostavat huomattavan kustannuserän yrityksen taloudessa. Viihtyvyyden lisääntyminen ja sairaspäivien vähentyminen heijastuu lopulta tuottavuuteenkin. /6,7,8/

### 2.1.1.3 Energiansäästömahdollisuudet

Toimistorakennuksissa ja muissa rakennuksissa, joiden käyttöaika keskittyy valoisiin vuorokaudenaikoihin ja joiden energiankulutuksesta 40...60 % menee valaistukseen, voidaan päivänvalon avulla vähentää merkittävästi energiankulutusta ja huipputehoa. Energiansäästö perustuu keinovalon korvaamiseen päivänvalolla siten, että keinovaloa säädetään päivänvalon saatavuuden mukaan. Suomessa päivänvalon saatavuus vaihtelee huomattavasti vuodenaikojen mukaan, eivätkä saavutettavat säästöt ole yhtä suuria kuin leveysasteilla, joilla päivänvaloa on käytettävissä tasaisesti ympäri vuoden. /3,5,6,8/

Sähköenergian lisäksi voidaan vähentää valaistuksen tuottamaa lämpökuormaa ja siten säästää lämpimien aikojen ilmastointikustannuksissa. Hehkulampun tuottamasta energiasta 90 % ja loistelamppujen energiasta 65...80 % on lämpöä. Päivänvalo on useimpia lamppeja tehokkaampi valonlähde, sillä auringon säteilyenergiasta vain noin 50 % on lämpöä. Pienpainenaatriumlampuissa ja suuritehoisissa suurpainenaatriumlampuissa päästään pienempiin suhteellisiin lämpösäteilyn osuuksiin, mutta niiden käyttö sisätilassa on useimmiten mahdotonta. Päivänvalon hyödyntäminen vähentää valaistuksen tuottamaa lämpökuormaa vain, jos suoran auringonsäteilyn pääseminen rakennukseen voidaan estää. Vaikka



aurionvalo onkin tehokas valonlähde, on sen intensiteetti ja siten myös sen sisältämän absoluuttinen lämpösäteilyn määrä hyvin suuri. Päivänvaloaukkoja voidaan käyttää myös tuuletusaukkoina.

Kylminä aikoina keinovalon korvaaminen päivänvalolla merkitsee rakennuksen lämmöntarpeen lisääntymistä. Usein kuitenkin vähentyneen jäähdytystarpeen kustannukset ovat merkittävämpiä kuin lisääntyneet lämmityskustannukset. Lämmitys on sitäpaitsi tarkoituksenmukaista ja halvempaa hoitaa siihen tarkoitettulla laitteistolla. /3,5,6/

Sähkö ostetaan pienkuluttajia lukuunottamatta yleensä tehotariffilla, joka koostuu energia- ja tehomaksusta. Tehomaksu määräytyy tilaajan vuotuisen huipputehon perusteella. Rakennuksissa, joissa valaistus muodostaa suurimman osan sähköenergian kulutuksesta, voidaan valaistuksen energiantarvetta vähentämällä pienentää huipputehoa ja siten säästää tehomaksussa. Pienikin huipputehon pieneneminen saattaa johtaa pienempiin tehomaksuihin. /3/

#### 2.1.1.4 Muita etuja

Päivänvalo ja valoaukot ovat tärkeä arkkitehtoninen elementti. Päivänvaloa voidaan käyttää arkkitehtonisesti määräävänä tekijänä (valokatteet) tai huomiota herättävänä yksityiskohtana (erkerit). Varsinkin suuret valoaukot lisäävät huoneen tilavuusvaikutelmaa laajentamalla näkymiä huoneen ulkopuolelle. Suuret valokatteet ja lasiseinät tuovat sisälle ulkotilan tuntua. Vaikutelmaa aiheuttavat paitsi näkymä ulos myös päivänvalon värin ja intensiteetin vaihtelut. Väriltään, kontrastiltaan ja valoisuudeltaan muuttuvaa päivänvaloa ei pystytä jäljittelemään keinovalon avulla. Viihtyisyyttä lisäävät myös viherkasvit, jotka monet tarvitsevat viihtyäkseen 5 000...20 000 lx valaistusvoimakkuuden suurimman osan vuodesta 8...10 tunnin päiväannoksina. Valaistusvoimakkuuksia voidaan alentaa jonkin verran, jos valon saantiaikaa kasvatetaan. Kuitenkin on näin suurten valaistusvoimakkuuksien tuottaminen mielekkäämpää päivänvalon kuin keinovalon avulla. /3,6,11,12/

Ikkunoita voidaan käyttää hätäuloskäynteinä esimerkiksi tulipalon sattuessa. Tulipalossa ikkunat voivat toimia paitsi poistumisteinä myös palomiesten sisäänpääsyteinä ja savunpoistoaukkoina. Lisäksi päivänvalo voi olla ainut valonlähde onnettomuustilanteissa, joissa sähkönsyöttö katkeaa. /3,12/

Yleensä päivänvalorakenteet eivät lisää rakennuksen rakennuskustannuksia. Päivänvalon käyttäminen voi jopa vähentää kustannuksia, jos selvitään pienemmällä jäähdytyslaitteistolla tai jos valokatteella katetaan tiloja, jotka muuten jäisivät ilman katetta. Jälkimmäisessä tapauksessa kustannussäästöä tulee sisäpihan vaipan rakenteiden keventymisestä, lumen- ja savunpoistojärjestelmien poisjäämisestä,

hormitilantarpeen vähenemisestä ja LVI-asennustöiden helpottumisesta. Suuriksi kustannukset muodostuvat, jos päivänvaloratkaisussa käytetään monimutkaisia järjestelmiä ja kalliita materiaaleja. /3,13/

Päätös käyttää päivänvaloa valaistustarkoituksiin vaikuttaa rakennuksen muihinkin osajärjestelmiin. Esimerkiksi päätös käyttää kattoikkunoita saattaa johtaa sahakattorakenteeseen tai pyrkimys päivänvalon tehokkaaseen hyödyntämiseen saattaa johtaa teräsrakenteeseen rakennukseen. Kaapelihyllyjen sijoitusongelma ratkeaa helposti, jos ne yhdistetään valohyllyihin. Päivänvalojärjestelmien ja muiden rakennuksen järjestelmien integroimista on harkittava rakennuskohtaisesti ja suunnittelu vaatii huolellisuutta ja eri järjestelmien suunnittelijoiden välistä yhteistyötä. /3/

## 2.1.2 Päivänvalon haitat

### 2.1.2.1 Häikäisy

Päivänvalolähteistä tulee usein häikäisyn aikeuttajia, koska niitä käytetään valaistuksen lisäksi myös näköalan vuoksi. Häikäisyä voivat aiheuttaa ikkunasta näkyvät aurinko ja taivas sekä kirkkaat julkisivut. Siluettivaikutelmaa esiintyy, kun kohdetta joudutaan tarkastelemaan kirkasta taustaa, esimerkiksi ikkunaa vasten. Tällöin kohde näkyy vain siluettina, eikä yksityiskohtien näkeminen ole mahdollista. Auringonvalo saattaa häikäistä heijastuessaan kiiltävästä sisäpuolisesta pinnasta. Häikäisyä voi aiheuttaa pinnan kirkkaus tai esimerkiksi lasista heijastuvat kuvat. Häikäisyä aiheuttavat myös voimakkaan auringonvalon aiheuttamat suuret luminanssierot ikkunaa lähimpänä olevien alueiden ja huoneen muiden osien välillä.

Pilvisen ja kirkkaan taivaanvalon aiheuttaman häikäisyn arvioimiseksi on valaisimien aiheuttamasta, häikäisyä kuvaavasta häikäisyindeksistä, GI, kehitetty laskentamenetelmä päivänvalon häikäisyindeksille, dGI. Suoran auringonvalon häikäisyvaikutuksia ei menetelmällä voida arvioida. /3/ .

### 2.1.2.2 Keinovalon säätö

Silloin kun päivänvalo ei tuota riittävää valaistusvoimakkuutta, on käytettävä keinovalaistusta. Suurin hyöty päivänvalon ja keinovalon yhdistämisestä saadaan, jos keinovaloa säädetään päivänvalon saatavuuden mukaan. Säättäminen voidaan tehdä kytkemällä lamppuja päälle ja pois joko kaikki kerralla tai portaittain tai säätämällä niitä jatkuvasti. Ongelmallisinta valonsäädössä ovat olleet valonlähteiden säätäminen ja valaistusvoimakkuusanturin sijoittaminen siten, että se ohjaa keinovalon muutoksia oikein. Kehittyneemmät automaattisista säätölaitteista tulevat



lisäksi kalliiksi. Usein katsotaan, että laitteiston takaisinmaksuaika venyy liian pitkäksi, jotta lisäinvestointi säätölaitteisiin kannattaisi.

### 2.1.2.3 Lämpöhäviö ja liikalämpö

Ikkunamateriaalien lämmönjohtavuus on huomattavasti suurempi kuin seinämateriaalien. Talvella ikkunat aiheuttavat lämpöhäviöitä, jotka lisäävät lämmitystarvetta. Kylmällä ilmalla ikkunoista saattaa aiheutua vetoa, koska ne ovat huonoja lämmöneristeitä ja niiden sisäpinta on kylmä. Kesällä suora auringonsäteily saattaa aiheuttaa suurenkin jäähdytystarpeen. Lämmön siirtymiseen vaikuttavat valoaukkojen muoto, koko ja sijainti, materiaalit ja varjostimet. /5,7/

### 2.1.2.4 UV-säteily

Päivänvalo sisältää runsaasti ultraviolettisäteilyä, joka haalistaa värejä ja haurastaa paperia ja muoveja. Ultraviolettisäteilyn haalistava vaikutus on ongelma lähinnä tiloissa, joissa on taideteoksia, paperia tai kankaita kuten museoissa, taidegallerioissa, kirjakaupoissa, kirjastoissa, vaatekaupoissa, kangaskaupoissa. Valonlähteen valon vahingollista vaikutusta voidaan arvioida valon UV-säteilyn määrällä valonlähteestä saatavaa luksia kohden. UV-säteilyn vahingollisuuden tiedetään riippuvan aallonpituudesta siten, että UV-C-alueen säteily on vahingollisinta. Tarkempaa tietoa väripigmenttien reagoimisesta eri aallonpituuksiin ei toistaiseksi ole olemassa, mutta asiaa ruvetaan tutkimaan CIE:n division 3 technical committee 3.2.2:ssa. Kyseisen komitean tehtävänä on tutkia museovalaistausta ja suojausta säteilyvaurioita vastaan. Komitean työ valmistuu vuonna 1995. /15/ Taulukossa 2.1 on verrattu eri valonlähteiden sisältämää UV-säteilyä. Päivänvalon komponenteista kirkas taivaansäteily sisältää eniten UV-säteilyä. Pilvisen taivaan säteily sisältää UV-säteilyä alle puolet ja auringonvalo noin kolmanneksen kirkkaan taivaan säteilystä riippuen auringon korkeudesta.

Taulukossa 2.2 on esitetty valon ja UV-säteilyn jakautuminen eri taivaanosiin ja valon UV-säteilyn määrä luksia kohden, kun taivas jaetaan ilmansuuntien mukaan neljänneksiin tai puolikkaisiin. Taulukon mukaan UV-säteily on suhteellisen tasaisesti jakautunut eri ilmansuuntiin, joten taivaansäteilyn aiheuttama haalistuminen ei juuri riipu säteilyn tulosuunnasta. /3/

Taulukko 2.1 Eri valonlähteiden sisältämä UV-säteily 1 000 lx kohden UV-A, -B ja -C-komponentteihin jaettuna. /16/

Valonlähde	UV-säteily 1000lx valaistusvoimakkuudella / mW		
	UV-C 100 - 280 nm	UV-B 280 - 315 nm	UV-A 315 - 400 nm
Kirkas taivas	0	20	500
Hehkulamppu, 100 W	0,003	1	35
Halogeenilamppu, 100 W	2	9	125
Loistelamppu			
valkoinen, Ra = 85	0	7	80
valkoinen, Ra = 94	0	5	35
lämmin, Ra = 85	0	9	90
Monimetallilamppu 150 W			
valkoinen, Ra =	20	60	270
lämmin, Ra =	6	33	450

Taulukko 2.2 Päivänvalon UV-säteilyn jakautuminen eri taivaanosiin. /3/

Suunta	Näkyvä valo / %	UV säteily / %	UV / lux %
Pohjoinen	16,4	21,5	131,3
Itä	24,8	24,9	100,7
Etelä	34,1	28,6	83,9
Länsi	24,8	24,9	100,7
Koko taivas	100,0	100,0	100,0
Pohjoinen puolisko	37,5	45,0	120,0
Eteläinen puolisko	62,5	55,0	88,0
Itäinen/läntinen puolisko	50,0	50,0	100,0

### 2.1.2.5 Muita haittoja

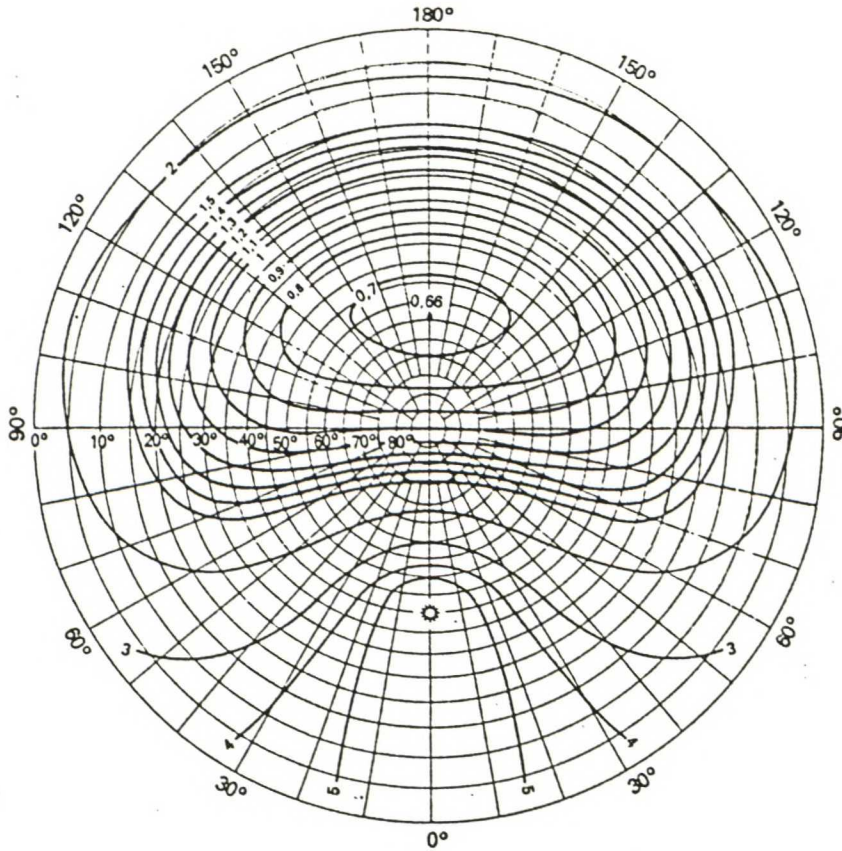
Näköyhteys valoaukkojen kautta ulkoa sisälle voi olla huoneessa oleskelevien kannalta kiusallinen. Toisaalta helposti särkyvät, laajat lasipinnat ovat turvallisuusriski tarjoten esimerkiksi mahdollisen murtoreitin rakennukseen. /6,8/ Kaupunkialueilla merkittäväksi haitaksi voi muodostua valoaukkojen kautta rakennukseen kantautuva melu. Valoaukkojen melunläpäisyyyn ei merkittävästi vaikuta niiden pinta-ala vaan lähinnä muut rakenteelliset ominaisuudet. /5/

## 2.2 VALAISTUSVOIMAKKUUS ULKONA

Valaistusvoimakkuuteen ulkona vaikuttavat maantieteellinen sijainti, vuoden-, vuorokaudenaika, sijainti ympäristöön nähden, sääolosuhteet, varjostavat esteet.



Päivänvalon tulosuunta maan pinnalle riippuu taivaan luminanssijakautumasta. CIE on määritellyt luminanssijakautumat kahdelle perustaivaalle: kirkkaalle ja tasaisesti pilviselle taivaalle. Kirkkaan taivaan standardoitu luminanssijakautuma on kuvan 2.4 mukainen. Luminanssi on suurin auringon lähiympäristössä ja pienin aurinkoa vastapäätä.



Kuva 2.4 Kirkkaan taivaan luminanssijakautuma, kun aurinko on 40° horisontin yläpuolella. Yksikkönä on käytetty zeniitin luminanssia. /6/

Jos zeniitin luminanssi tunnetaan, voidaan kirkkaan taivaan luminanssijakautuma määrittää pisteittäin Klitterin yhtälöstä

$$L_p = \frac{L_z (1 - e^{-0.32/\sin \alpha})(0.91 + 10^{-3}\Psi + 0.45 \cos^2 \Psi)}{0.274(0.91 + 10e^{-3Z_s} + 0.45 \cos^2 Z_s)} \quad (1)$$

missä  $\alpha$  on pisteen P korkeus horisontin yläpuolelle [°]  
 $Z_s$  on auringon ja zeniitin välinen kulma [°]  
 $\Psi$  on auringon ja pisteen P välinen kulma [°]  
 $L_z$  on kirkkaan taivaan luminanssi zeniitissä [cd/m<sup>2</sup>]



$L_p$  on kirkkaan taivaan luminanssi pisteessä P [ $\text{cd/m}^2$ ]

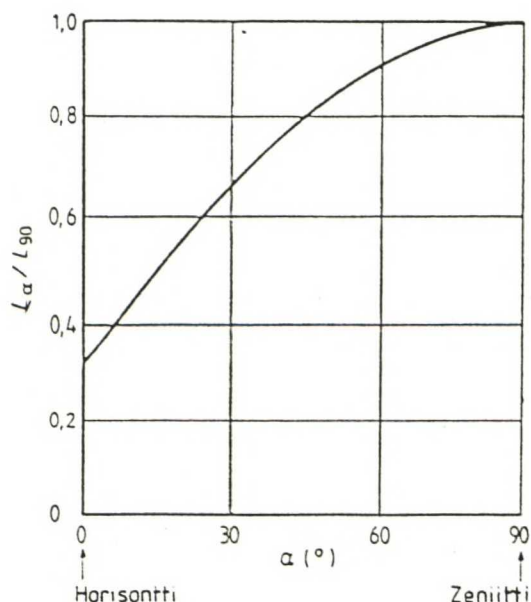
Esimerkiksi, jos zeniitin luminanssi on  $3\,300\text{ cd/m}^2$  ja auringon korkeus on  $40^\circ$ , saadaan auringon lähiympäristössä taivaan luminanssiksi  $16\,500\text{ cd/m}^2$  ja aurinkoa vastapäätä  $2\,178\text{ cd/m}^2$ .

Tasaisimman valaistuksen tuottaa pilvinen taivas. Pilvisen taivaan luminanssijakautuma on standardoitu ja se noudattaa yhtälöä

$$L_\alpha \sim \frac{1 + 2 \sin \alpha}{3} L_z \quad (2)$$

missä  $\alpha$  on tarkasteltavan pisteen korkeus horisontin yläpuolella [ $^\circ$ ]  
 $L_z$  on tasaisesti pilvisen taivaan luminanssi zeniitissä [ $\text{cd/m}^2$ ]  
 $L_\alpha$  on tasaisesti pilvisen taivaan luminanssi korkeudella alfa horisontin yläpuolella [ $\text{cd/m}^2$ ].

Yhtälön 2 mukainen taivaan luminanssijakautuma on esitetty kuvassa 2.5. Luminanssi on suurimmillaan zeniitissä ja se pienenee horisonttiin päin. Jakautuma on riippumaton auringon paikasta.



Kuva 2.5 Yhtälön 2 mukainen tasaisesti pilvisen taivaan luminanssi yksikkönä luminanssi zeniitissä.  $L_\alpha$  on tasaisesti pilvisen taivaan luminanssi korkeudella alfa horisontin yläpuolella. /4/

Pilvisen taivaan tuottaman valaistuksen tasaisuus ja luminanssijakautuman yksinkertaisuus helpottavat valaistusolosuhteiden laskentaa. Koska pilvisellä taivaalla valaistus on myös minimissään, käytetään sitä yleisimmin mitoituserusteena päivänvalotarkasteluissa. Seuduilla, joilla taivas on harvoin tasaisesti pilvinen, tarvitaan valaistuskantaan myös kirkkaan tai osittain pilvisen taivaan ominaisuuksia. Lisäksi häikäisyarkasteluissa on tarpeen käsitellä kirkasta taivasta. /3,4/

Suomessa päivänvalolaskelmia vaikeuttaa päivänvalomittausten puuttuminen. Päivänvalon tuottamat valaistusvoimakkuudet ulkona on johdettava taivaan ja auringon kokonaissäteilyn mittauksista. Ilmatieteen laitos on tehnyt säteilymittauksia Suomessa vuodesta 1952. Eri puolilta Suomea on mitattu vaakasuoralle pinnalle tulevaa kokonaissäteilyä, hajasäteilyä ja maasta heijastunutta säteilyä [ $\text{J/m}^2$ ], säteilytasetta sekä auringonpaisteen kestoa. /14,17/

Valaistusvoimakkuuden laskemiseksi säteilyarvoista on kehitetty useita menetelmiä. Useimmiten säteilyarvot muutetaan valaistusvoimakkuuksiksi päivänvalon valotehokkuuden avulla. Suoran auringonsäteilyn valotehokkuus on noin 100 lm/W ja sinisen taivaan valotehokkuus noin 150 lm/W. Englannissa on mitattu valotehokkuuden vaihteluksi 77...135 lm/W ja kuukausittaisten keskiarvojen vaihteluksi 110...130 lm/W. /4/ Yleisesti laskelmissa käytettäväksi on hyväksytty päivänvalon valotehokkuus 120 lm/W. Tarkempaan tulokseen päästään laskemalla päivänvalon valaistusvoimakkuus suorasta ja heijastuneesta päivänvalon komponenteista yhtälön 3 avulla. /18/

$$E_{pv} = a P_s + b P_h \quad (3)$$

missä  $E_{pv}$  on päivänvalon valaistusvoimakkuus vapaan taivaan alla [lx]  
 $P_s$  on suoran auringonsäteilyn säteilyteho [ $\text{W/m}^2$ ]  
 $P_h$  on hajasäteilyn säteilyteho [ $\text{W/m}^2$ ]  
 $a$  on suoran auringonsäteilyn valotehokkuus, 107,5 [lm/W]  
 $b$  on hajasäteilyn valotehokkuus, 149 [lm/W]

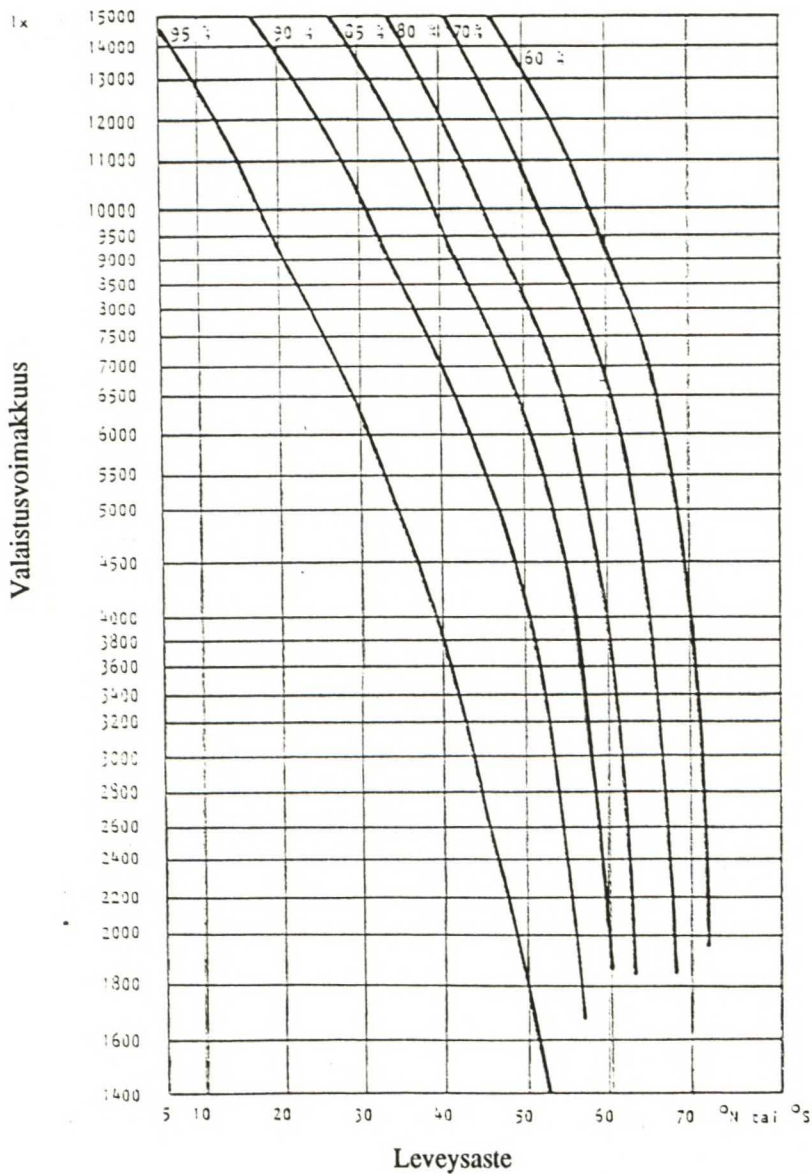
Yhtälön 3 tarkkuudeksi on mittauksissa saatu  $\pm 10 \%$ . Ilmatieteen laitoksen säteilymittaukset on tilastoitu vuorokausisummina ja kuukausittaisena säteilyn jakautumina vuorokauden tunneille. Mittauksista voidaan yhtälön 3 avulla laskea keskimääräisiä valaistusvoimakkuuksia jonakin tiettyinä päivinä, kuukautena, vuonna tai jonkin kuukauden keskimääräinen valaistusvoimakkuus jollekin vuorokauden jaksolle.

Vuosi 1991 oli CIE:n "maailmanlaajuinen päivänvalon mittaamisen vuosi" (International Daylight Measurement Year, IDMY), jolloin aloitettiin



maailmanlaajuiset päivänvalon tuottamien säteilyarvojen ja valaistusvoimakkuuksien mittaukset päivänvalon analysointitarkasteluja varten. Suomessa ei oteta osaa näihin mittauksiin. /19/

Päivänvalon riittävyyttä voidaan arvioida karkeasti kuvasta 2.6, jossa on esitetty vapaan, pilvisen taivaan tuottamat vaakatason valaistusvoimakkuudet leveysasteen funktiona. Käyristä näkee, kuinka monta prosenttia työajasta klo 9.00...17.00 on sellaista, että vapaan taivaan tuottama valaistusvoimakkuus on vähintään vaadittu. Jos työaika poikkeaa käyrästä työajasta, suoritetaan korjaus taulukon 2.3 avulla.



Kuva 2.6 Valaistusvoimakkuus vapaalla, vaakasuoralla pinnalla pilvisellä säällä leveysasteen funktiona. Käyrät osoittavat, kuinka monta prosenttia vuotuisesta työajasta klo 9.00...17.00 on sellaista, että valaistusvoimakkuus on vähintään vaadittu tai suurempi. /4/



Taulukko 2.3 Kuvasta 2.6 saatavan prosenttiarvon muuttuminen valaistuksen käyttöajan muuttuessa. /4/

Valaistuksen käyttöjakso	Kuvasta 2.6 saadut prosenttiarvot					
9.00...17.00 (kuva 2.6)	95 %	90 %	80 %	89 %	70 %	60 %
7.00...15.00	95	90	85	80	70	60
8.00...16.00	100	100	95	85	70	60
7.00...17.00	95	85	75	65	55	45
6.00...18.00	75	70	65	60	50	40

Säteilyn valotehokkuuden avulla säteilyarvoista laskemalla päästään tarkempaan tulokseen kuin kuvan 2.6 kaavion avulla. Kummallakaan menetelmällä ei voida käsitellä erikseen kirkkaan ja pilvisen taivaan olosuhteita, mikä olisi välttämätöntä päivänvalon ja keinovalon yhdistämistarkoituksissa.

## 2.3 VALAISTUSVOIMAKKUUS SISÄLLÄ

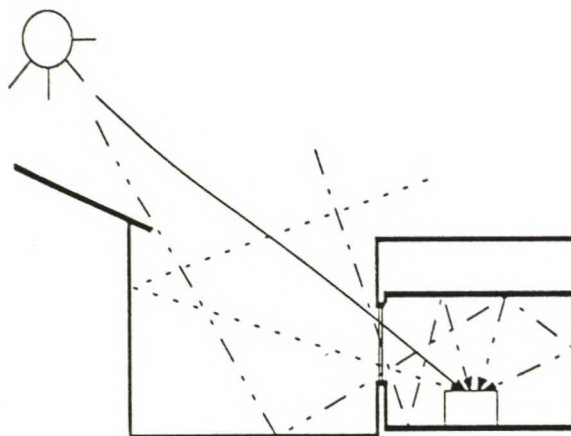
Päivänvaloa voidaan tuoda rakennukseen neljällä eri päivänvalojärjestelmällä, joita ovat

- seinäikkunat
- kattoikkunat
- valokatteet ja -seinät
- optiset järjestelmät kuten valokuidut, valoputket ja erilaiset linssi- ja heijastinjärjestelmät /20/

Eri menetelmiin liittyy tekijöitä, jotka vaikuttavat rakennukseen saatavaan päivänvalon määrään.

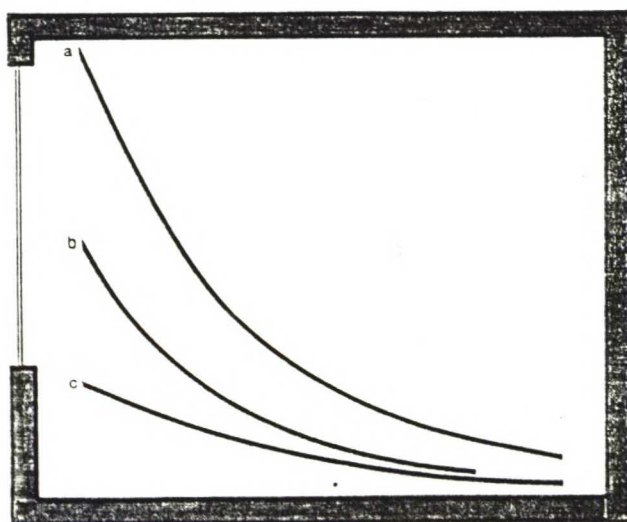
### 2.3.1 Katteen ja ympäristön vaikutus

Päivänvalon sisällä muodostuu suoraan taivaalta tulevasta taivaan- ja auringonsäteilystä, ulkopuolisista esteistä heijastuvasta säteilystä sekä huonepintoista heijastuvasta säteilystä.

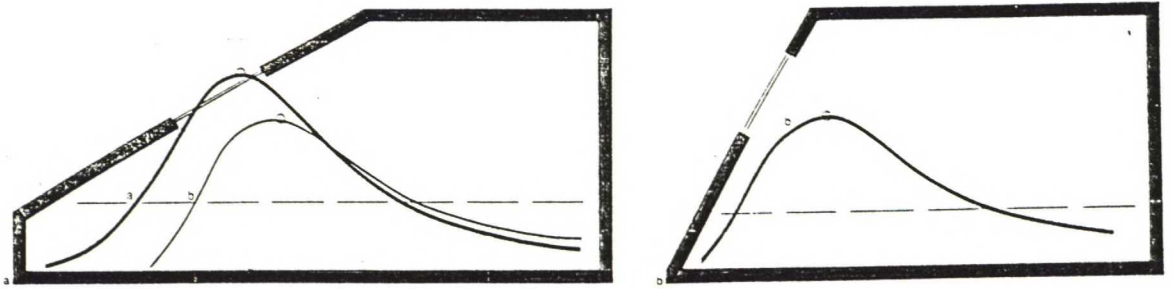


Kuva 2.7 Rakennuksen sisälle saapuvan päivänvalon osakomponentit. /4/

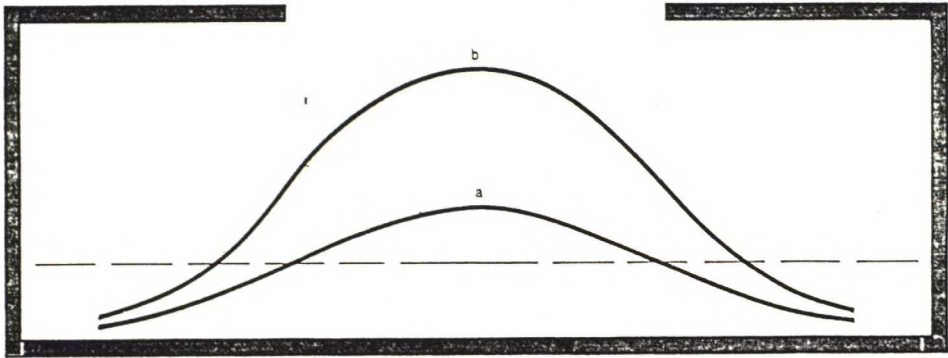
Päivänvalon suoran komponentin suuruuteen vaikuttaa ulkona olevan valaistusvoimakkuuden lisäksi käytetty päivänvalojärjestelmä. Esimerkiksi seinäikkunoihin verrattuna suhteellisesti pienemmillä kattoikkunoilla saavutetaan sama päivänvalosuhte. Kattoikkunoita käytettäessä saavutetaan tasaisempi valaistustulos kuin seinäikkunoilla (kuvat 2.8, 2.9 ja 2.12). Valon määrään ja tasaisuuteen vaikuttavat osaltaan käytettyjen valoaukkojen koko (kuva 2.10), sijoitus (kuva 2.11) ja lukumäärä (kuva 2.12). /4/



Kuva 2.8 Päivänvalon jakautuminen huoneessa, jossa on yksi seinäikkuna: (a) ikkuna aurinkoon päin, kirkas taivas; (b) pilvinen taivas, ikkunan suunnalla ei väliä; (c) ikkuna auringosta pois päin, kirkas taivas. Varsinkin aurinkoisella ilmalla päivänvalon jakautuminen huoneeseen on hyvin epätasaista. Ikkunan suuntaus ilmansuuntiin nähden vaikuttaa valaistusvoimakkuuden jakautumiseen aurinkoisella ilmalla. /3/

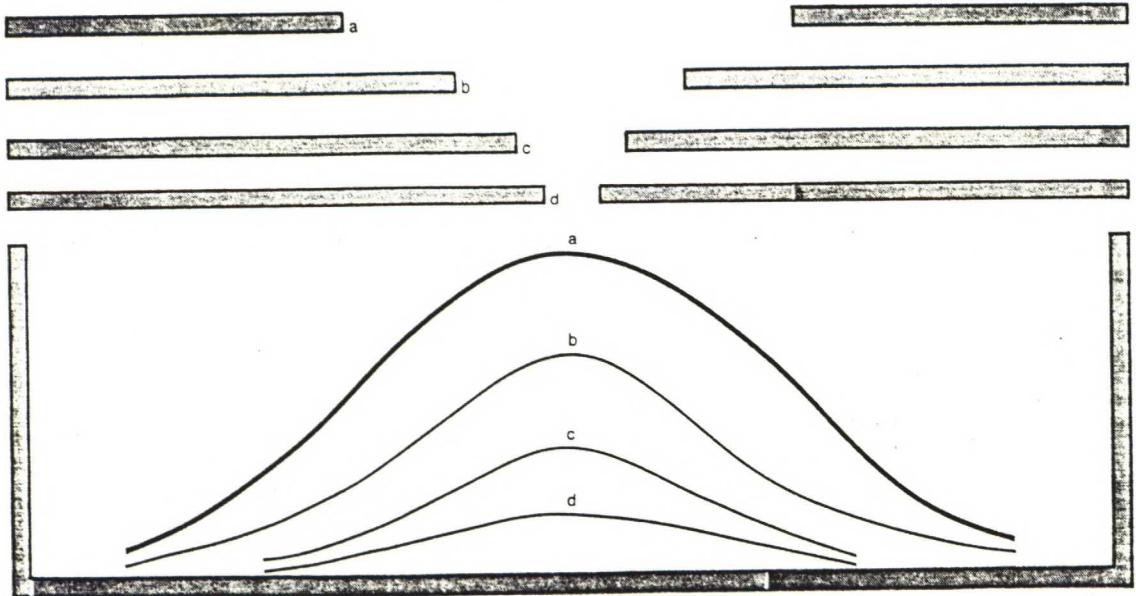


a) Kalteva kattoikkuna: (a) 30° ja (b) 60° kallistuskulmilla.



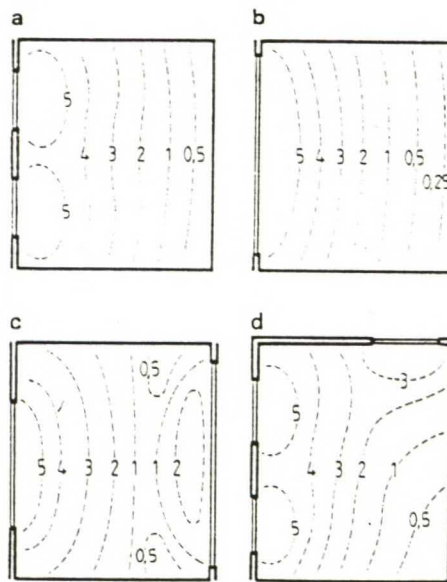
b) Vaakasuora kattoikkuna: (a) pilvinen taivas, (b) kirkas taivas.

Kuva 2.9 Päivänvalon jakautuminen käytettäessä erilaisia kattoikkunoita. Päivänvalon jakautumien parantuu sitä mukaan kun ikkunaa kallistetaan pystytasosta. Tasaisin tulos saadaan vaakasuoralla valoaukolla. /3/

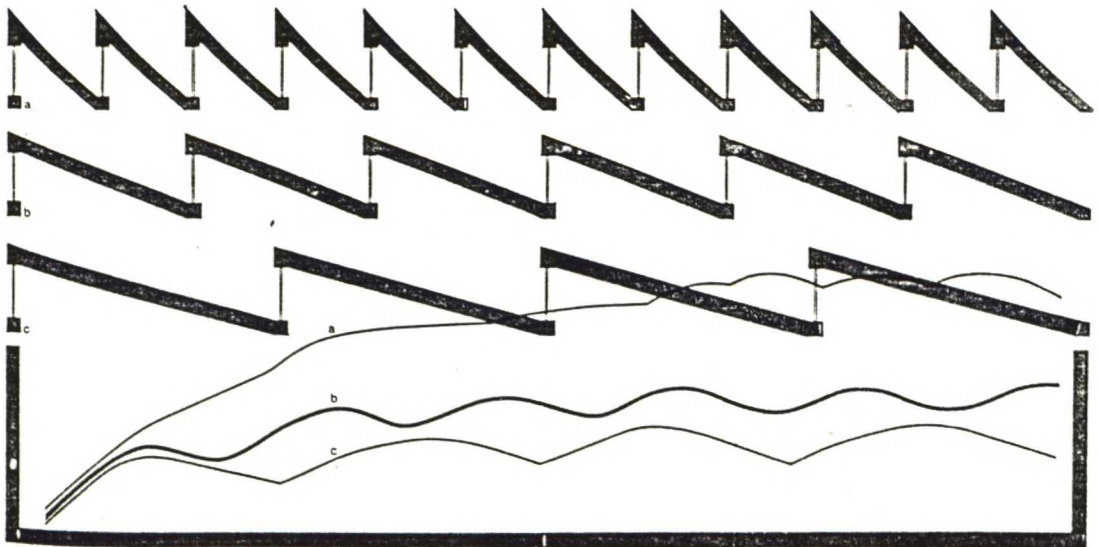


Kuva 2.10 Kattoikkunan koon pienentäminen vähentää päivänvaloa ja toisaalta tasoittaa päivänvalon jakautumista. /3/



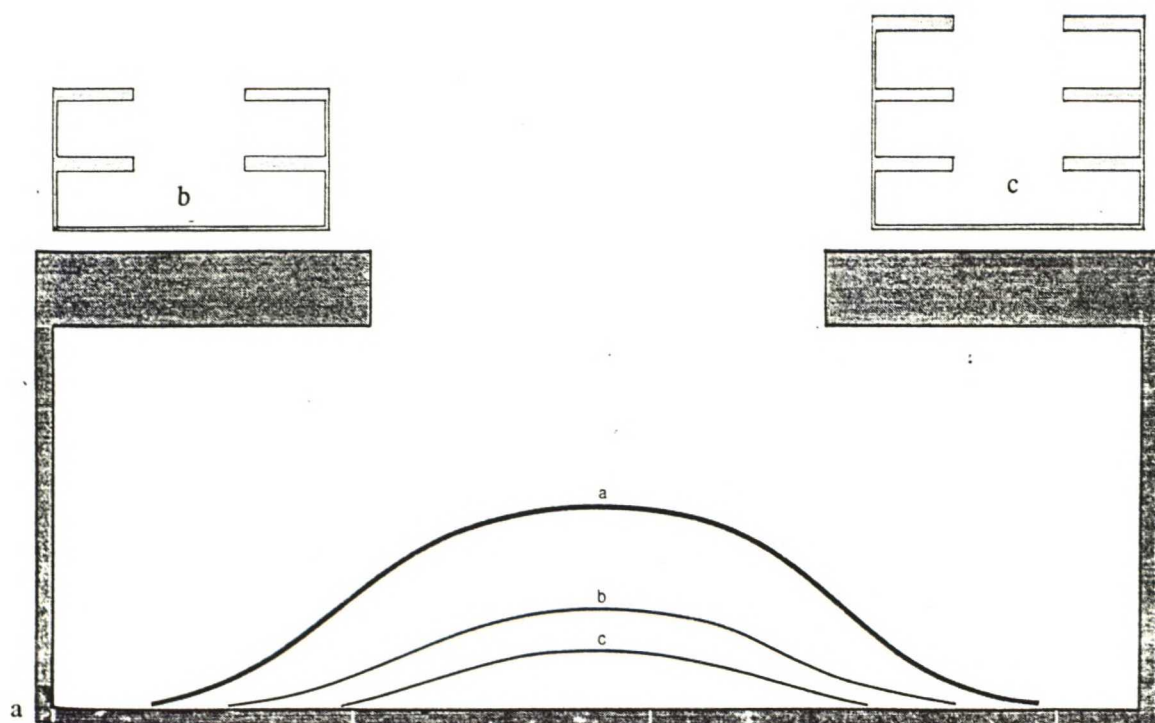


Kuva 2.11 Päivänvalosuhteen jakautuminen, kun sama ikkuna-ala jaetaan eri tavoin seinille. a) kaksi kapeaa ja korkeaa ikkunaa, b) yksi leveä ikkuna, c) ikkunat kahdella vastakkaisella seinällä, d) ikkunat kahdella vierekkäisellä seinällä. Ikkunoiden jakaminen useaan osaan ja kahdelle tai useammalle seinälle tasoittaa päivänvalon jakautumista. /4/



Kuva 2.12 Ikkunoiden lukumäärän vaikutus päivänvalon määrään, kun käytetään sahakattoja ja pystysuoria kattoikkunoita. Lukumäärän kasvattaminen lisää päivänvaloa sisällä. /3/

Valokatteisten tilojen korkeus ja muoto vaikuttavat eri kerroksien päivänvalon määrään siten, että parhaiten päivänvaloa saadaan eri kerroksiin matalissa (kuvat 2.13) ja ylöspäin laajenevissa valopihoissa. Tilan koon vaikutuksessa merkittäviä ovat mittasuhteet. Valaistavan tilan mittasuhteet vaikuttavat varsinkin valaistusvoimakkuuden tasaisuuteen. Seinäikkunoita käytettäessä päivänvalon määrä vähenee hyvin nopeasti ikkunasta poispäin (kuva 2.10) ja siten päivänvalosuhte huoneen takaosassa on sitä parempi mitä korkeampi huone on verrattuna sen syvyyteen. Kattoikkunoiden kautta tuleva valo jakautuu sitä tasaisemmin, mitä korkeampi huone on. /1,3/



Kuva 2.13 Alimman kerroksen päivänvalon jakautuma, kun kerrosten lukumäärä kasvaa. /3/

Rakennuksen ulkopuoliset esteet vaikuttavat ikkunoiden suuntaukseen. Esteet, kuten toiset rakennukset ja puut, voivat vähentää näkymää ikkunasta taivaalle. Ulkopuoliset esteet on huomioitava varsinkin seinäikkunoita suunniteltaessa. Kattoikkunoita varjostavat harvoin muut ulkopuoliset esteet kuin lumi. /3,4/

Ikkunamateriaalien valonläpäisysuhteet vaihtelevat noin 30...90 %. Valonläpäisyä vähentää likaantuminen, joka riippuu ikkunoiden kaltevuuskulmasta, meteorologisista ja paikallisista olosuhteista sekä rakennuksen sisäilman puhtaudesta. /4/ Ikkunan karmit, puitteet ja pienat vähentävät valoa läpäisevää

ikkunapinta-alaa. Myös aurinkosuojana käytetyt kaihtimet verhot tai muut vastaavat vähentävät päivänvalon määrää.

Päivänvalo voi heijastua rakennukseen esimerkiksi muista rakennuksista, ulkopuolisista rakenteista ja maasta. Vaikka ulkopuoliset esteet vähentävätkin suoran auringonvalon komponenttia voi päivänvalon määrä sisällä heijastumisen ansiosta jopa kasvaa. Päälystämällä rakennuksen läheiset maa-alueet vaalealla päälystysaineella voidaan lisätä maasta heijastuneen valon määrää. Kattoikkunoita tai valokatetta käytettäessä ulkopuolisista esteistä heijastunut päivänvalon komponentti on yleensä merkityksetön.

Rakennuksen sisällä päivänvalon heijastumiseen voidaan vaikuttaa huonepintojen heijastumissuhteita parantamalla. Erityistä huomiota on kiinnitettävä ikkunaa lähimpänä olevien pintojen heijastumissuhteisiin, koska valo heijastuu niistä ensimmäisenä. Seinäikkunoita käytettäessä katon vaalean värityksen ansiosta voidaan päivänvalon määrää huoneen takaosassa merkittävästi lisätä varsinkin talvella maan ollessa luminen. Valokatteisissa tiloissa vaaleat seinäpinnat heijastavat valon alempiin kerroksiin ja lisäävät niiden päivänvalon määrää. Lattian heijastusominaisuudet ovat suhteellisen merkityksettömiä seinäikkunoilla varustetussa tilassa. Kun päivänvalo tulee ylhäältä, on lattian heijastumissuhteellakin merkityksensä. Hyvin heijastava lattia lisää erityisesti valokatteisen sisäpihan alimpaan kerrokseen heijastunutta valoa.

Huoneessa, jossa on seinäikkunat heijastumisien kautta työtasolle saapuva osuus kokonaispäivänvalosuhteesta voi olla 35...50 %, jos huonepinnat ovat vaaleita. Kattoikkunoita käytettäessä voidaan heijastumisia arvioida huonepintojen keskimääräisen heijastumissuhteen avulla. Keskimääräinen heijastumissuhde saadaan yhtälöstä

$$\rho_m = (\rho_k A_k + \rho_i A_i + \rho_s A_s + \rho_l A_l) / (A_k + A_i + A_s + A_l) \quad (4)$$

missä  $\rho_k, \rho_i, \rho_s$  ja  $\rho_l$  ovat katon, ikkunoiden, seinien ja lattian heijastumissuhteet [%]

$A_k, A_i, A_s$  ja  $A_l$  ovat katon, ikkunoiden, seinien ja lattian alat [m<sup>2</sup>]

Kiiltävät pinnat heijastavat enemmän valoa valoaukosta poispäin kuin diffuusisti heijastava pinnat. Diffuusisti valoa heijastavat huonepinnat ovat kuitenkin suositeltavia, koska kiiltävät pinnat saattavat aiheuttaa häikäisyä varsinkin auringonpaisteessa.  
/4,5,21/



### 2.3.2 Aurinkosuojaus

Päivänvaloa joudutaan säättämään silloin, kun on tarpeellista suojautua suoran auringonvalon aiheuttamalta häikäisyltä ja liikalämmöltä sekä päivänvalon sisältämältä UV-säteilyltä. Aurinkosuojat vähentävät häikäisyä ja auringon lämpöä varjostamalla aurinkoa ja kirkasta taivasta, hajoittamalla päivänvaloa tai suuntaamalla sitä tarkoituksenmukaisesti. Samalla ne myös vähentävät valoaukon kautta saatavaa päivänvaloa ja näköyhteyttä ulkopuolelle.

#### 2.3.2.1 Aurinkosuojauksen tarpeellisuus häikäisyn kannalta

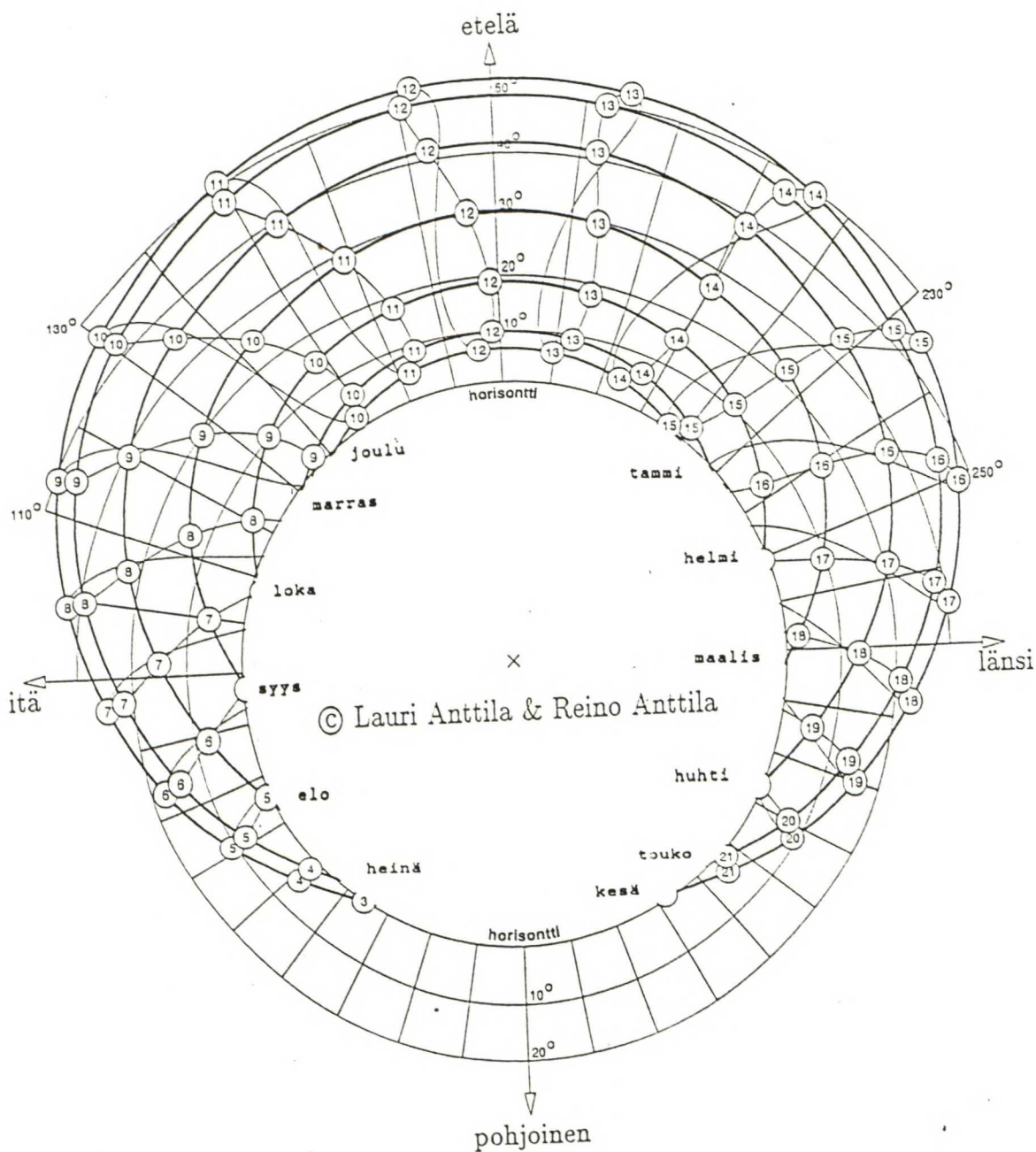
Häikäisytestasteluissa tärkein on suora auringonvalo. Suoran auringonvalon lisäksi täytyy huomioda auringonvalon heijastuminen vaaleista rakennuksen ulkopuolisista ja sisäpuolisista pinnoista ja taivaan aiheuttama häikäisy.

Valokatteisissa tiloissa suoran auringonvalon häittävä vaikutus riippuu tilan käyttötarkoituksesta. Auringonvalon läsnäolo voi olla toivottavaa, jos tarkoitus on luoda tilaan ulkotilan tuntua. Tällöin suojausta ei tarvita. Suorasta auringonvalosta on haittaa, jos se osuu suoraan työskentelyalueelle tai alueille, joissa pääkatsesuunta on tai voi olla aurinkoa vastaan. Auringonvalo voi osua työtilaan esimerkiksi, jos valokatteisissa tilassa itsessään on työskentelyalueita (kahvilat, hotellien vastaanottotiskit tms.) tai jos valokatteeseen sisäpihaan liittyy valoa läpäisevien pintojen kautta muita tiloja. Valokatteisissa tiloissa, joihin liittyy valoa läpäiseviä seiniä, suoraa auringonvaloa on todennäköisesti koko näköympäristössä. Tällöin häikäisyvaikutus on yleensä pienempi, kuin tiloissa, joissa auringon valo on vain suppeilla alueilla.

Aurinkosuojauksen lähtökohdaksi on selvitettävä, miten suora auringonvalo osuu valoaukkoihin; missä kulmassa ja kuinka monta tuntia päivässä eri vuodenaikoina sekä mihin osiin rakennuksen sisällä auringonvalo osuu. Suoran auringonvalon osumista rakennukseen voidaan arvioida auringonkulkukaavioista. Kuvassa 2.14 on auringonkulkukaavio Helsingille. Liitteessä 1 on vastaavia kaavioita eri puolille Suomea. Kaavioista näkyvät auringon nousu- ja laskuajat sekä auringonkorkeus ja suunta eri kellonaikoina kunkin kuukauden 21. päivänä. Kaaviota on käytetty esimerkkikohteessa kpl:ssa 5.

Alueilla, jonne suora auringonvalo ei pääse, voi häikäisysojauksen tarve syntyä auringon heijastuessa kirkkaista rakennuksen ulko- tai sisäpuolisista pinnoista tai taivaansäteilystä. Yleisiä häikäisyn aiheuttajia ovat esimerkiksi erittäin vaaleat tai peiliheijastavat, valoaukkojen kautta näkyvät julkisivut. Puolipilvisellä säällä pilvien luminanssit saattavat kohota hyvinkin suuriksi. Tällaiset tilanteet ovat kuitenkin nopeasti muuttuvia eikä häikäisysojausta yleensä tarvita.

# AURINGON NÄENNÄINEN LIIKE HELSINGISSÄ



Kuva 2.14 Auringon näennäinen liike Helsingissä ( $60^{\circ}12'$  pohjoista leveyttä ja  $24^{\circ}55'$  itäistä pituutta). Kuvassa on auringon liike kunkin kuun 21. päivänä. Auringon suunnan ja kellonaikojen yhteys on ilmoitettu ympyröissä. Kellonajat pätevät kesäkuusta joulukuuhun. Kellonajat tammikuusta toukokuuhun saadaan kahdeksikon muotoisen analeeman toiselta laidalta. Ajat ovat talviaikoja.



### 2.3.2.2 Aurinkosuojausten tarpeellisuus UV-säteilyn kannalta

Suojausta ultraviolettivaloa vastaan tarvitaan tiloissa, joissa on tekstiilejä, maalauksia tai kirjoja UV-säteilyn värejä haalistavan sekä paperia ja muovia haurastavan vaikutuksen vuoksi. UV-säteilyn vahingollisuus on muistettava myös valittaessa keinovalonlähteitä vahingoittuvia esineitä sisältävään tilaan.

UV-säteilyä voidaan vähentää käyttämällä ikkunassa UV-suotimia tai heijastamalla valo jonkin huonepinnan kautta ennen sen kohdistamista UV-säteilylle herkkään esineeseen. UV-suotimet ovat ohuita kalvoja, jotka voidaan asettaa lasin pinnalle tai kahden lasilevyn väliin. Epäsuoraa päivänvalon kohdistamista ei voida käyttää tiloissa, joissa ei ole heijastamiseen soveltuvia pintoja. Tällaisia ovat esimerkiksi vaate- tai kirjakaupat, joissa vaurioituvat esineet on yleensä sijoitettu seinille. /3,22/

### 2.3.2.3 Aurinkosuojausten tarpeellisuus lämpösäteilyn kannalta

Auringon lämpösäteily voi muodostaa loppukevästä alkusyksyyn merkittävän ongelman tiloissa, joissa on suuria valoa läpäiseviä pintoja. Koneellista jäähdytystä edullisemmaksi tulee vähentää tilaan tulevaa lämpösäteilyä sopivalla suojausmenetelmällä.

Pohjoiseen ja itään suuntautuvat katteet eivät tarvitse aurinkosuojausta; pohjoisenpuoleiset katteet siksi, ettei aurinko sinne paista, idänpuoleiset siksi, että aamupäivällä auringon nousun jälkeen ilma on yleensä yön jälkeen vielä viileä ja lämpeneminen vähäistä.

Lämpösuojaus voi olla tarpeellista myös siksi, että lämpösäteily kellastaa värejä. /22/

### 2.3.2.4 Suojauskeinot

Aurinkosuojoina käytetään vaakasuoria ja pystysuoria ulokkeita ja säleikköjä, sälekaihtimia, ikkunaluukkuja, rullaverhoja, markiiseja, verhoja ja erilaisia auringonsuojalaseja. Suojat voidaan sijoittaa lasien ulkopuolelle, sisäpuolelle tai lasikerrosten väliin. Ne voivat olla kiinteitä, poistettavia tai säädettäviä.

Ulkopuoliset suojat estävät paremmin liikalämpenemistä, koska ne heijastavat auringon lämpösäteilyä ennen kuin se ehtii tunkeutua rakennuksen sisälle. Ulkopuoliset lasin eteen sijoitetut suojat vähentävät ilmavirtauksia lasin pinnalla ja parantavat siten lasin lämmöneristävyyttä. Ulkopuolisten suojien likaantuminen on nopeaa ja puhdistaminen yleensä hankalaa. Suomen sääolosuhteet asettavat



ulkopuolisille suojille niin suuret kestävyysvaatimukset, ettei niitä yleensä voida käyttää.

Sisäpuoliset suojat voivat talvella vähentää lämpöhäviöitä muodostamalla eristävän ilmakerroksen tai heijastamalla lämpösäteilyä takaisin huoneeseen. Sisäpuoliset suojat voidaan asentaa vaikka jälkikäteen ja niiden huoltaminen ja säätäminen on yksinkeraista.

Lasien välissä aurinkosuoja päästää auringon lämmön lasikerrosten väliin, josta lämmennyt ilma voidaan tarvittaessa käyttää rakennuksessa jonkin muun lämmitystä tarvitsevan tilan lämmityksessä. Ikkunoiden välissä aurinkosuoja likaantuu hitaammin kuin lasien ulko- tai sisäpuolella.

Valaistukselliset vaikutukset ovat lähes samat sijoitettiinpa aurinkosuoja ulos, sisään tai lasien väliin.

Kiinteät aurinkosuojat suojaavat häikäisyltä ja liikalämmöltä yhtä tehokkaasti kaikissa olosuhteissa suojauksen tarpeesta riippumatta. Kiinteiden suojien hyvänä puolena on niiden yksinkertaisuus. Poistettavat aurinkosuojat kiinnitetään paikoilleen tarpeen vaatiessa. Joustavin aurinkosuoja saavutetaan säädettävillä laitteilla. Säätäminen voi olla manuaalista tai automaattista.

/3,4,5,12/

Aurinkosuojan suunnittelussa on otettava huomioon:

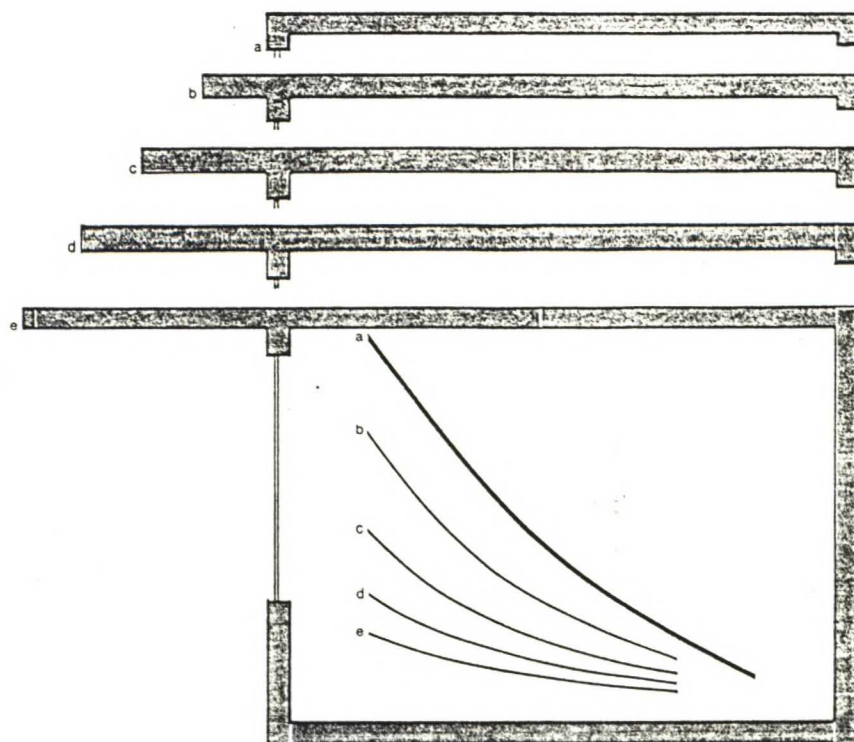
- kuinka rakenteet kestävät suojien painon
- tuulikuormat
- suojien kestävyys
- aurinkosuojien huoto
- aurinkosuojan vaikutus valoaukon puhtaanapitoon
- mahdollisuus korvaamiseen ja jälkiasennukseen
- sadeveden ja lumen kerääntyminen
- paloturvallisuus
- vaikutus akustiikkaan
- ulkopuolinen ja sisäpuolinen ulkonäkö
- lämpövaikutukset lasiin

/5/

Seuraavassa esitetyt auringonsuojat eivät kaikki sovellu valokatteen aurinkosuojaukseen, mutta koska valokatteeseen tilaan usein liittyy tiloja, joissa on seinäikkunat valokatteeseen tilaan, on lyhyesti käsitelty myös vain seinäikkunoihin soveltuvat aurinkosuojat. Suora auringonvalo voi osua valokatteisiin tiloihin liittyviin ikkunoihin esimerkiksi tilan ylimmissä kerroksissa tai jos valokatteeseen liittyy lasiseinä.

Aurinkosuojaukseen käytettävät rakenuksen julkisivun ulokkeet, kiinteät säleet ja sälekaihtimet toimivat kaikki rajoittamalla auringon ja taivaan näkymistä valoa läpäisevän pinnan kautta. Suojat voivat olla vaakasuoria tai pystysuoria. Vaakasuorat suojat sopivat aurinkosuojaksi etelään ja pystysuorat itään ja länteen suuntautuvilla julkisivuilla. Ulokkeiden, säleiden ja säleverhojen suunnittelussa voidaan hyödyntää auringonkulkukaavioita liitteessä 1.

Ulokkeet vähentävät sisälle saatavaa auringonvaloa kuvan 2.15 mukaisesti. Aurinkolippojen hyvänä puolena on, että ne suojauksesta huolimatta eivät paljoakaan rajoita ulkonäkymää. Näin on ainakin, jos ei ole tarpeen suojautua matalalta paistavalta auringolta. Suomen leveysasteilla aurinko jää talvella varsin alas eikä se nouse kesälläkään kovin korkealle. Kesäaurinkonkin mukaan mitoitettu lipa saattaa rajoittaa näkymää liiaksi. Talvella vaakasuorat lipat keräävät lunta ja jäätä. Ikkuna voidaan vaakasuoran lipan avulla jakaa kahteen osaan. Tällöin puhutaan valohyllystä. Valohyllyjä käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.3.5.1.



Kuva 2.15 Lipallisella sivuikkunalla varustetun huoneen päivänvalojakauma erilaisilla lipan pituuksilla. Lipan pituutta kuvataan tunnusluvulla  $D$ , joka on lipan pituuden ja ikkunan korkeuden suhde. (a) ei lippaa, (b)  $D = 0,25:1$ , (c)  $D = 0,5:1$ , (d)  $D = 0,75:1$ , (e)  $D = 1:1$ . /3/

Jonkinlaisina aurinkolippoina voidaan käsittää myös markiisit, joita käytetään varsinkin näyteikkunoiden aurinkosuojina. Ne levitetään ikkunan yläpuolelle suojauksen ollessa tarpeellista. Markiisin ohjaus voidaan automatisoida. Markiisit



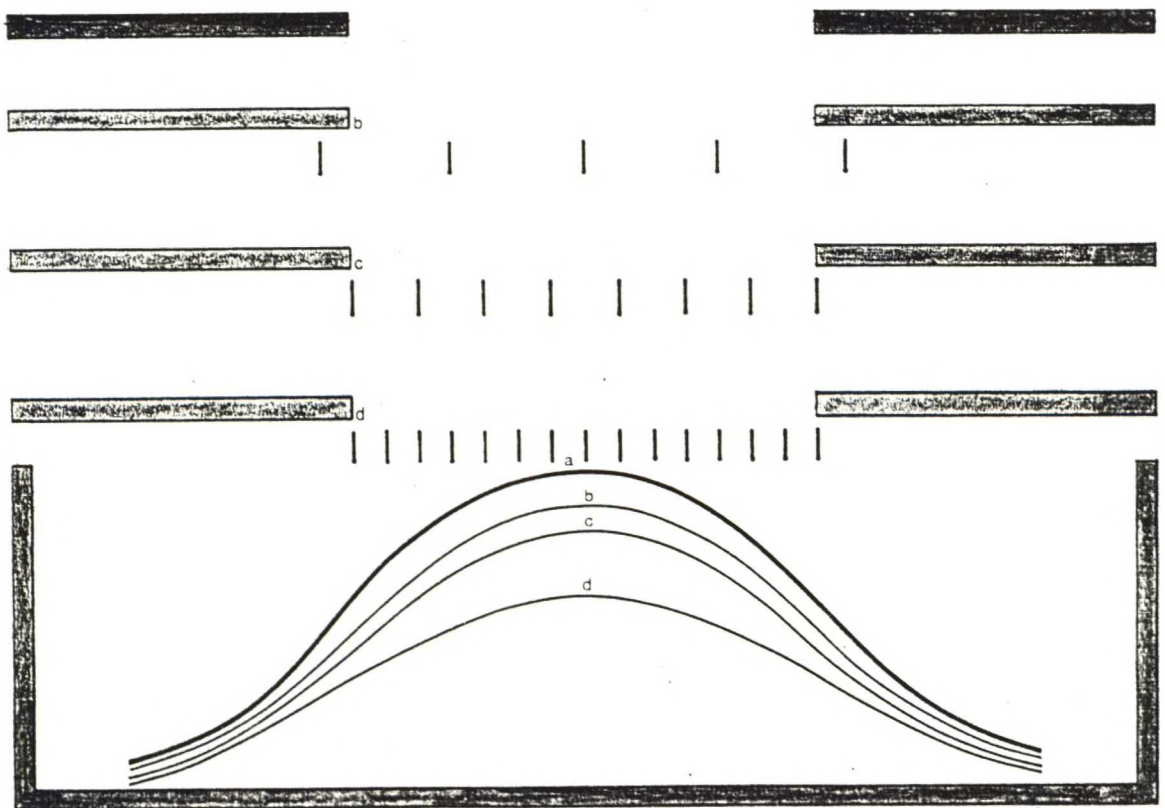
ovat erittäin alttiita sään vaikutuksille ja ne joudutaan uusimaan varsin usein.

/3,5/

Kiinteät säleät asetetaan yleensä kohtisuoraan ikkunapintaa vasten. Mitä enemmän säleiden kulma poikkeaa suorasta kulmasta, sitä enemmän säleikkö rajoittaa näkymää ulos. Mitä tiheämmin säleet on asetettu, sitä tehokkaammin säleiköt vähentävät sisälle saatavaa auringonvaloa (kuva 2.16). Säleikköjä voidaan käyttää kattoikkunoissa. /3,5/

Kennosäleikössä on sekä pysty- että vaakasuorat säleet. Sitä käytetään kaakkois- ja lounaisjulkisivuilla ja suuren varjostustehokkuutensa vuoksi kuumassa ilmastossa.

/5/



Kuva 2.16 Kattoikkunan aurinkosuojaukseen käytettävän säleikön säleiden lukumäärän lisäämisen vaikutus päivänvalojakaumaan huoneessa. (a) ei säleikköä, (b)  $d:l = 4:1$ , (c)  $d:l = 2:1$ , (d)  $d:l = 1:1$ .  $d$  on säleiden väli ja  $l$  on säleiden leveys. /3/

**Sälekaihtimien** säleitä säätämällä voidaan saavuttaa optimisuojaus kaikissa olosuhteissa. Jos suojausta ei tarvita, voidaan säleet asettaa kohtisuoraan ikkunapintaa vasten. Säleverhon säätäminen voidaan tehdä automaattiseksi. Useissa tapauksissa säleverho voidaan haluttaessa nostaa pois ikkunan edestä.



Sälekaihtimien avulla voidaan estää suora auringonvalo estämättä kuitenkaan hajavalon pääsemistä rakennukseen. Kirkkaat säleiden pinnat heijastavat osan niihin osuvasta valosta huoneen kattoon, josta valo heijastuu syvemmälle huoneeseen. Kun kaihtimet samalla vähentävät päivänvaloa ikkunan läheisyydessä, parantavat ne jonkin verran päivänvalon jakautumista huoneessa. Vaaleat säleiden pinnat voivat tulla auringonvalossa hyvin kirkkaiksi ja aiheutta häikäisyä.

Kriisitilanteissa säleverhot voivat vaikeuttaa pelastustoimia. Säleverhot soveltuvat kaikenlaisten valoaukkojen aurinkosuojaukseen.

/3,5/

Ikkunan yläpuoliset **rullaverhot** muodostavat alas laskettuina esteen auringonsäteilylle. Suurimmat rullaverhot ovat 4...5 m levyisiä ja 3 m korkuisia. Suuret rullaverhot ovat moottorikäyttöisiä ja niiden ohjaus voidaan automatisoida. Varsinkin ulkopuoliset rullaverhot asennetaan yleensä raameihin, joihin verho tiivistyy sivuistaan ja ylä- ja alapuolelta. Siten ne muodostavat ikkunaan yhden eristävän ilmvälän lisää ja parantavat ikkunan lämpöeristystä.

Kun halutaan suojautua auringon lämpösäteilyltä, tulisi varjostimen ulkopinnan olla vaalea. Tällöin suuri osa säteilystä heijastuu takaisin ulos. Talvella, kun auringon lämpösäteilyä halutaan kerätä, tulisi ulkopuolisen pinnan olla tumma. Yksi vaihtoehto on käyttää käännettävää kaihdinta.

Verhomateriaali voi olla läpinäkymätöntä tai läpikuultavaa. Materiaalina voidaan käyttää myös selektiivisellä kalvolla päällystettyä muovikalvoa, jollaista on käsitelty kappaleessa 2.3.3.3. Samaan ikkunaan voidaan kiinnittää erilaisia suojia ja käyttää tarpeen vaatiessa niistä sopivinta. Tällöin suojauksen ohjaus kannattaa automatisoida, koska käyttäjät eivät välttämättä tiedä, millainen suojaus on paras kulloiseenkin tilanteeseen. Manuaalinen ohjaus jää usein myös tekemättä.

Rullaverhoja voidaan käyttää kaikenlaisissa ikkunoissa.

/5/

Ikkunan sisäpuoliset **tekstiiliverhot** soveltuvat suojaustavaksi, jos ongelmana on ainoastaan auringon aiheuttama häikäisy. Verhot voivat liikkua sivusuunnassa tai pystysuunnassa. Yleensä niitä käytetään sivuikkunoissa, mutta niistä voidaan tehdä myös kattoon tai kalteviin ikkunoihin soveltuvia ratkaisuja.

Verhojen haittana on varsin usein tarvittava puhdistus. Ohuita, läpikuultavia verhoja käytetään usein näköesteenä ikkunoissa, joiden läpi on esteetön näkyvyys rakennuksen ulkopuolelta.

/5/

**Valokatemateriaalien** valon- ja lämmönläpäisyominaisuuksilla on suuria eroja. Alhainen valonläpäisy vähentää häikäisyä ja alhainen lämmönläpäisy lämpösuojausten tarvetta. UV-suojaukseen käytetään valokatteeseen liitettäviä muovikalvoja ja pinnoitteita. Valokatemateriaaleja on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.3.3.

Sivuikkunallisissa huoneissa, joissa päivänvalon jakautuma on varsin epätasainen, voidaan **keinovalon** avulla vähentää auringonvalon aiheuttamaa häikäisyä tasoittamalla huoneenosien välisiä luminanssieroja. /3,4/ Yleensä keinovaloa ei ole tarkoituksenmukaista käyttää häikäisyn poistamiseen, koska vaadittava valaistusvoimakkuus kirkkauserojen tasoittamiseksi on huomattavasti suurempi kuin vaatimukset näkemisen kannalta. Tällöin valonlähteistä voi tulla hyvin kirkkaita ja ne saattavat itse aiheuttaa häikäisyä. Toisaalta suuret valaistusvoimakkuudet nostavat valaistuksen sähkönkulutusta, mikä ei ole tarkoituksenmukaista energiansäästö tavoitteiden kannalta. Näistä syistä keinovalaistusta tulisi käyttää häikäisyn poistamiseen ainoastaan, jos muita keinoja ei voida käyttää. /3/

#### 2.3.2.5 Yhteenveto aurinkosuojauksesta valokatteisessa tilassa

Aurinkosuojaus valokatteisessa tilassa voidaan hoitaa sälekaihtimilla, rullaverhoilla, muilla verhoilla ja sopivalla katemateriaalilla. Kiinteät säleiköt voivat olla käyttökelpoisia, jos ne eivät liiaksi vähennä päivänvalon määrää silloin, kun suojaus on tarpeeton.

Jos tilan ylikämpeneminen on suurin ongelma, soveltuvat suojaukseen parhaiten ulkopuoliset suojat ja lämmönläpäisyltään alhaiset valokatemateriaalit. Ulkopuolisiin suojiin tulee Suomen ilmasto-olosuhteissa suhtautua varovaisesti. Kesällä ulkopuolisten suojien käyttäminen on mahdollista, mutta talvella lumen ja jään kasautuminen estää suojien toimimisen. Toisaalta suojauksen tarve on kesällä suurin - talvella lisälämpö on yleensä tervetullutta. Suojat voitaisiinkin tehdä helposti asennettaviksi siten, että ne voidaan talvella poistaa ja asentaa paikoilleen kesällä.

Ikkunalasien välissä aurinkosuojat eivät yhtä tehokkaasti estä lämmön tunkeutumista rakennukseen kuin ikkunoiden ulkopuolella, mutta toisaalta ne ovat ikkunoiden välissä suojassa sään vaikutuksilta ja likaantumiselta.

Häikäisysojaukseen voidaan käyttää kaikkia valokatteeseen soveltuvia suojauskeinoja. Jos samanaikaisesti ei tarvitse suojautua lämpösäilyltä, voidaan suojauksessa käyttää sisäpuolisia suojia, joiden käyttäminen on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin ulkopuolisten suojien. Häikäisyongelma voidaan poistaa käyttämällä katteessa valoa hajoittavaa, läpinäkymätöntä lasia tai muovia. Lämpinäkymätön kate soveltuu paikkoihin, joissa ei haluta tai tarvita näköyhteyttä ulos. Valonläpäisyltään alhaiset materiaalit, kuten värjätyt ja absorboivat lasi, ovat



ratkaisuna sikäli huonoja että ne vähentävät tilaan saatavaa luonnonvaloa kaikissa tilanteissa. Yksinkertaisin ja monesti käyttökelpoinen häikäisynestokeino on suunnata pääkatsesuunta pois päin valoaläpäisevistä pinnoista.

UV-suojaukseen voidaan käyttää suodattavia pinnoitteita ja muovikalvoja.

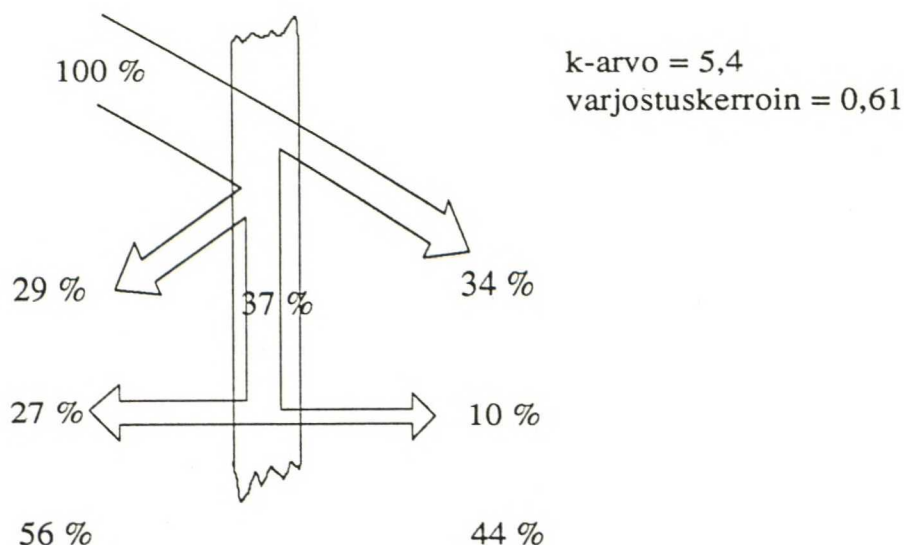
### 2.3.3 Valokatemateriaalit

Koska valokate muodostaa suuren osan valokatteisen rakennuksen ulkokuoren pinta-alasta, vaikuttavat katteen materiaalin ominaisuudet merkittävästi valokatteisen tilan ominaisuuksiin. Materiaalin valinnalla voidaan vaikuttaa muunmuassa päivänvalon määrään ja laatuun, rakennuksen lämpötalouteen, äänieristykseen, palonestoon ja turvallisuuteen. Valintaan vaikuttavat lähinnä materiaalien optiset ja termiset ominaisuudet. Optisesti ja termisesti ideaalinen materiaali läpäisisi kaiken näkyvän valon, muttei lainkaan lämpösäteilyä.

Materiaalin optisella läpäisyllä tai heijastavuudella tarkoitetaan näkyvän valon aallonpituusalueella tapahtuvaa läpäisyä tai heijastumista. Lämpötekniisiä ominaisuuksia kuvataan suureilla (suluissa kuvan 2.17 lasin arvot):

imeytymä	lasiin imeytyvä lämpösäteilyn osa, josta osa kulkeutuu ulos ja osa sisään (37 %)
heijastuma	pinnasta heijastuva lämpösäteilyn osa (29 %)
suora läpäisy	lasin suoraan läpäisevä lämpösäteily (34 %)
kokonaisläpäisy	suoran läpäisyn ja imeytymän kautta sisätilaan kulkeutunut lämpö (44 %)
k-arvo	kokonaislämmönläpäisy [ $\text{W/m}^2\text{°C}$ ], kutsutaan myös U-arvoksi
varjostuskerroin	suoran läpäisyn ja imeytymän kautta sisätilaan kulkeutunut lämpö verrattuna 4 mm lasin läpäisemään lämpöön. Varjostuskerrointa käytetään lähinnä englantia puhuvissa maissa. /23,24/





Kuva 2.17 Reflectafloat auringon säteilyä heijastavan 6 mm lasin lämpötekniset ominaisuudet. /25/

### 2.3.3.1 Lasit

Lasi on eniten käytetty ikkunamateriaali, joita on käytetty ja kehitetty jo vuosisatoja. Lasi on lähes huoltovapaa eivätkä sen ominaisuudet vanhenemisen myötä juuri muutu. Kirkasta lasia käytettäessä katteen valonläpäisy on maksimissaan. 3...8 mm paksuisen kirkkaan lasilevyn valonläpäisevyys on 90...86 %. Lasin huonona puolena on suuri lämmönjohtavuus. Lasi valmistetaan nykyisin yleensä float-menetelmällä.

Lasi ei sellaisenaan sovi katemateriaaliksi, koska se särkyessään hajoaa terävä-reunaisiksi palasiksi. Lasikatteissa käytetään joko karkaistua tai laminoitua lasia.

Lasin karkaisussa aikaansaadaan lasin pinnalle lämpö- tai kemiallisella menetelmällä puristusjännitys, joka lisää lasin mekaanista kestävyyttä. Karkaistu lasi kestää paitsi iskuja myös korkeita lämpötiloja (350...400 °C) ja tasaista kuormaa. Rikkoontuessaan karkaistu lasi hajoaa pieniksi pyöreäreunaisiksi palasiksi. Karkaisu ei muuta lasin säteilynläpäisyominaisuuksia. Ennen karkaisua lasin pinta voidaan emaloida halutun väriseksi. /1,5,12,21,23,24/

Laminoitu lasi koostuu kahdesta tai useammasta lasilevystä, jotka liitetään toisiinsa muovikalvon, yleensä PVB-kalvon, avulla. Lasilevyt voivat olla tavallista tai karkaistua lasia. Laminoinnin ansiosta lasinpalaset pysyvät koossa, kun lasi rikkoontuu. Lasin lujuutta laminointi ei lisää. Laminoidun lasin säteilyominaisuudet riippuvat muovikalvon ominaisuuksista. Muovikalvo voi toimia esimerkiksi UV-suotimena. /1,24,26/

Jos aurinkoisella ilmalla halutaan tasainen valaistustulos, täytyy katteessa käyttää himmeää lasia. Himmeä lasi levittää ja hajoittaa valoa. Himmeä kate on kuitenkin läpinäkymätön eikä se siten tarjoa suoraa näköyhteyttä ulos. Ainoastaan suurimmat sään muutokset pystytään havaitsemaan. Yleensä mitä enemmän lasi hajoittaa valoa sitä pienempi sen valonläpäisy on.

Lasikatteen lämpöominaisuuksia voidaan parantaa käyttämällä lämpölaseja. Lämpölaseilla voidaan vähentää rakennuksen sisälle pääsevää auringon lämpösäteilyn määrää tai estää talvella lämpövuodot rakennuksesta ulos. Ikävänä puolen lämpölaseissa on, että niiden tuottama suojaus on aina yhtä tehokas.

Lämpöä imevä eli absorpoiva lasi on läpinäkyvää värjättyä tai muulla tavalla siten käsiteltyä lasia, että se absorpoi enemmän auringon lämpösäteilyä kuin tavallinen lasi. Osa lasiin imeytyneestä lämmöstä kulkeutuu lasin sisäpuolelle. Lasin paksuuden kasvaessa sen absorptio-ominaisuudet kasvavat ja valonläpäisy pienenee. Koska lasi absorpoi lämpöä, tulevat sen lämpenemisestä aiheutuvat mittamuutokset kohtalaisen suuriksi. Lasin epätasainen lämpeäminen saattaa johtaa lämpöjännitysten kautta lasin rikkoutumiseen. Värjätyn lasin läpäissyt valo on värillistä, jolloin tilan värit muuttuvat. /1,5,27/

Lämpöä heijastava lasi on valmistusprosessin yhteydessä päällystetty metallioksidilla tai muulla materiaalilla, joka heijastaa osan auringon lämpösäteilyä. Pinnoite on värillinen ja pienentää lasin valonläpäisyyä. Monesti heijastava kerros asetetaan värillisen lasin pintaan. Ulospäin lämpöä heijastava lasi toimii peilin tavoin, joten on varottava aiheuttamasta häikäisyä ympäristöön. Lasin epätasainen lämpeneminen saattaa aiheuttaa lasiin lämpöjännityksiä. /1,5,12,24,27/

Johtavapintaisen lasin pinnoitetta voidaan käyttää vastuksena, jota lämmitetään sähkövirralla. Sähkölämmitys ei paranna lasin lämmönläpäisyominaisuuksia, mutta se tasoittaa ikkunapinnan ja huoneen lämpötilojen eroa, vähentää vetoa ja voi siten lisätä viihtyisyyttä ikkunan lähettyvillä. Sähkölasi on erityisen käyttökelpoinen kosteissa tiloissa, sillä lasin lämmittäminen estää tehokkaasti kosteuden huurtumisen tai jäätymisen lasin pinnalle. Sähköä johtava pinnoite voi toimia myös murtohälyttimenä. /28/

### 2.3.3.2 Muovit

Muovien käyttö ikkuna- ja valokatemateriaalina on niiden valmistustekniikan kehityksen myötä lisääntymässä. Lasiin verrattuna muovien heikkoja ominaisuuksia ovat:

- suuri lämpölaajeneminen, mistä seuraa suuria lämpöliikkeitä ja usein



- vesivuotoja
- pehmeys, mistä on seurauksena valonläpäisyä pienentävä pinnan naarmuuntuminen ja karheutuminen; valonläpäisy laskee noin prosentin vuodessa /29/
- huono lämmönkestävyys
- useat muovit kestävät huonosti UV-säteilyä

Muovien etuja lasiin verrattuna ovat:

- edullisuus
- asennuksen helppous
- keveys
- suurehkot levykoot, jolloin selvitään vähemmillä saumoilla
- muotoiltavuus

/13/

Akryylin optiset ominaisuudet ja valonläpäisykyky ovat hyviä. Kirkkaan akryylin valonläpäisevyys on noin 92 % levyn paksuudesta riippumatta. Akryylin säänkestävyys on myös hyvä. Saatavilla on lämpö- ja ultraviolettivaloa suodattavaa akryyliä.

Polykarbonaatin lujuusominaisuudet ovat hyviä ja iskunkestävyys erittäin hyvä. Kirkkaan polykarbonaatin valonläpäisevyys on 85...89 %. Valokatteisiin käytetyt polykarbonaattilevyt ovat yleensä ontelo- tai aaltolevyjä. Saatavana on lämpö-säteilyä suodattavaa polykarbonaattia.

Lujitemuovit ovat lasikuituvahvisteisia polyestereitä. Niiden lujuusominaisuudet ja iskunkestävyys ovat hyviä. Täysin läpinäkyviä lujitemuoveja ei ole. Valokatteisiin käytetään yleensä poimulevyjä, jotka ovat ohuempia kuin vastaavat tasolevyt ja joiden valonläpäisevyys on siten parempi. Säänkestävyyttä voidaan parantaa ulkopinnan lakkauksella.

Polyvinyylidikloridien ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Kovan PVC:n lujuusominaisuudet ovat hyviä ja valonläpäisykyky suhteellisen hyvä. 3 mm paksun kirkkaan levyn valonläpäisevyys on noin 86 %. Valokatteiksi on saatavilla erilaisia ontelolevyjä.

/1/

### 2.3.3.3 Valokaterakenteet

Valokaterakenteilla tarkoitetaan valokatemateriaaleista valmistettuja valokateratkaisuja (valokate-elementtejä). Valokaterakenne voi koostua yhdestä tai useammasta



kerroksesta. Eri kerrosten materiaali on yleensä sama, mutta myös eri materiaaleja voidaan käyttää. /13/

Useita lasikerroksia käytetään lähinnä lämpöteknisistä syistä; ilmaväli toimii eristävänä elementtinä ja siinä lämmennyt ilma voidaan ottaa talteen ja käyttää lämmitykseen. Kerrosten lukumäärä vaikuttaa materiaalien kokonaispaksuuteen ja sitä kautta katteen valonläpäisyyn. /5,11/ Kun eri kerroksissa käytetään eri materiaaleja, voidaan räätälöidä rakenteita, joilla on halutunlaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi säänkestoisuudeltaan huonot tai muuten arat materiaalit, joiden lämpöominaisuudet ovat hyviä, voidaan suojata säänkestävillä kerroksilla. /1,13,24/

Eristyslasiksi kutsutaan elementtiä, jossa on kaksi tai useampi lasikerros yhdistetty toisiinsa hermeettisesti. Eristyslasiin eristävyyttä voidaan parantaa täyttämällä ilmaväli huonosti lämpöä johtavalla kaasulla kuten argonilla tai kryptonilla. /30,31/ Parhain eristys on saavutettu, kun lasien väliin laitetaan tyhjiö. Tällaiset vakuumi-ikkunat ovat kuitenkin vielä laboratorioasteella ja vaativat toimiakseen tiivistystekniikan kehittymistä. /30/

Lasin pinnalle voidaan jälkikäteen lisätä ohut pinnoite, joka heijastaa suuren osan lämpösäteilyä ja läpäisee suuren osan näkyvästä valosta. Tällainen selektiivinen pinnoite on yleensä metallia ja se valmistetaan sputteroimalla eli tyhjäpinnoite-menettelmällä. Metallikalvon ominaisuuksista riippuu lasin valonläpäisykyky. Hopea- ja alumiinikalvo on osoittautunut hyväksi pinnoitteeksi, koska sen absorptio on pieni, väri neutraali ja termien läpäisy pieni. /5,12,27,32/

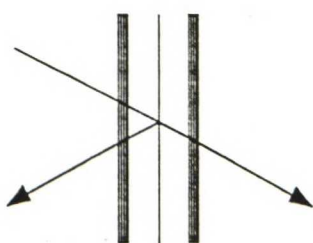
Selektiivilasia käytetään eristyslasiin osana siten, että selektiivilasi on ulompana, selektiivinen kalvo sisäpuolella. Tällöin sisempi lasi suojaa kalvoa likaantumislta ja naarmuuntumiselta. Kalvo heijastaa huoneenlämmön takaisin sisätilaan ja vähentää siten lämpöhäviöitä. Hyvä eristys saadaan yhdistämällä selektiivinen kalvo kaasutäytteiseen eristyslaselementtiin. Kesäaikana selektiivipinnoitteen haittana voi olla ylikuumeneminen. Ylikuumenemisen estämiseksi voidaan pinnoite kiinnittää joustavalle läpinäkyvälle muovikalvolle, jota voidaan käyttää rullakaihtimen tapaan. Tällaisella pinnoitetulla muovikalvolla voidaan myös korvata 1...2 ikkunalasiasia, jolloin rakenteesta saadaan huomattavasti kevyempi. Korjausrakentamisen yhteydessä muovikalvon lisääminen on yksinkertaista lasin vaihtoon verrattuna. /1,12,32/

Hopean lisäksi pinnoitemateriaalina on käytetty indium-tinaoksidia. Myös polyesteripohjaisia muoveja ja yhdistelmäpinnoitteita on kokeiltu. /31/

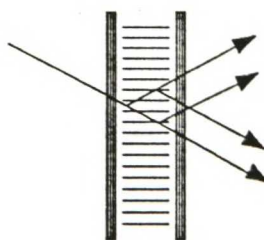
### 2.3.3.4 Valoa läpäisevät eristeet

Valoa läpäiseviä eristeitä voidaan käyttää päivänvaloaukoissa perinteisten ikkunamateriaalien sijaan. Niiden lämmönläpäisevyyttä voidaan verrata valoa läpäisemättömien eristeiden lämmönläpäisevyyteen. Siten rakennuksen kuoren valoa läpäisevää pinta-alaa voidaan lisätä huonontamatta kuitenkaan merkittävästi rakennuksen energiataloutta. Valoa läpäisevät eristeet ovat läpinäkymättömiä, joten ne sopivat käytettäväksi valoaukkoihin, joissa ei tarvita näkyvyyttä ulos. /30,32/

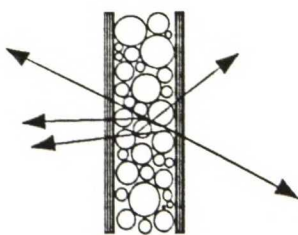
Valoa läpäiseviä eristeitä on geometrialtaan neljää erilaista tyyppiä, jotka on esitetty kuvassa 2.18.



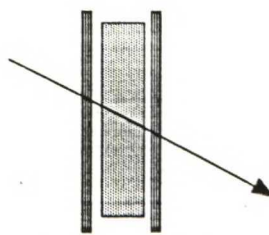
levymäinen  
tasonsuuntainen rakenne  
- lasit  
- muovikalvot



tasoa vastaan kohtisuora  
rakenne  
- lasit. levyt  
- kenot  
- kapillaarit



otelorakenteet  
- taitetut lavykerrokset  
- kennot  
- kapillaarit



(lähes) homogeeniset rakenteet  
- kuidut  
- aerogeelit

Kuva 2.18 Valoa läpäisevien eristeiden periaatteelliset rakenteet. /32/

Aerogeeliä lukuunottamatta eri eristetyyppejä voidaan valmistaa useista eri materiaaleista. Täyteaineina voidaan käyttää eri kaasuja ja eriste voidaan asettaa alipaineeseen. Muoveista valmistettujen levymäisten eristeiden paksuudet ovat yleensä



10...100 mm. Aerogeelejä valmistetaan sekä granulaattimuodossa että tiilinä. /32,33/

Valoa läpäisevien eristeiden valonläpäisy on pienempi kuin useimmilla muilla ikkunamateriaaleilla. Yleensä valonläpäisyn parantaminen aiheuttaa lämmöneristyskyvyn heikkenemisen ja päin vastoin. Siksi eristetyyppi on aina optimoitava käyttökohteen olosuhteiden ja vaatimusten mukaisesti. Valonläpäisyyn vaikuttavat eristeiden geometria, eristemateriaalin absorptio- ja heijastusominaisuudet sekä muita ikkunamateriaaleja merkittävämmiin säteilyn tulokulma. Tähän mennessä on eristeillä saavutettu 50...85 % valonläpäisevyyksiä. Suomessa tehdyssä mittauksessa on 100...200 mm paksulle kapillaarirakenteiselle eristeelle saatu karkeaksi valonläpäisyarvoksi 50...70 %. /32/ Kennorakenteisen eristeiden valonläpäisy voi olla 80 %, granulaattiaerogeeleiden noin 60 %. /33/ Eristeet käsittelevät valoa eri tavoin (kuva 2.18). Useimmat valoa läpäisevät eristeet osaksi hajoittavat ja sirottavat valoa, joten ne ovat läpinäkyvättömiä. Ainoastaan aerogeeelit kehittyvät läpinäkyvämpään suuntaan. Eristeen valonläpäisyä voidaan säädellä suojaavan piltamateriaalin valinnalla. /30,32/

Eristeiden lämpöominaisuuksiin vaikuttavat geometrian ja materiaalin lisäksi myös lämpötilaero eristeiden yli, keskilämpötila ja mahdolliset selektiiviset pinnoitteet. Muovisilla valoa läpäisevillä eristeillä eristettyjen ikkunoiden k-arvot liikkuvat välillä 0,7...2,2 W/m<sup>2</sup>K. Aerogeeleillä eristettyjen ikkunoiden k-arvoiksi on mitattu 0,5...1,3. /30,32,34/

Eristevalintaan vaikuttavat käytännössä optisten ja lämpöominaisuuksien lisäksi myös materiaalikustannukset ja pitkäaikaiskestävyys. Valonaläpäisevien eristeiden säänkestävyys on huono, joten ne on aina suojattava jollakin säänkestävällä, valoa läpäisevällä materiaalilla. /32/

Johtuen valonaläpäisevien eristeiden monimutkaisista optisista ominaisuuksista päivänvalon jakautumisen ja häikäisyn laskemiseen tarvitaan monipuolinen tietokoneohjelma. /34/

Suomessa valoa läpäiseviä eristeitä on tutkimuksen lisäksi käytetty vähän. Nesteiden muovitalokokeilussa on käytetty kapillaarirakenteista eristettä ikkunoissa ja katteessa. Kapillaari- ja kennorakenteiset eristeet ovat käytetyimpiä. Aerogeelejäkin on kaupallisesti saatavilla, mutta niiden valmistuskustannukset nostavat tuotteiden hinnat ainakin toistaiseksi liian suuriksi. Valoa läpäisevät eristeet on tilattava suoraan valmistajilta. /35/

#### 2.3.3.5. Valonläpäisyä säättävät materiaalit

Näiden lasien valon- ja säteilynläpäisy muuttuu jonkin ulkoisen tekijän ansiosta.

Valonläpäisyä säättäviä lasia voidaan käyttää aurinkosuojina häikäisyä tai liikalämpöä vastaan. Toisaalta kun suojautumiseen ei ole tarvetta, saadaan päivänvaloa käytettyä mahdollisimman tehokkaasti hyväksi. Säädettyjen lasien näkyvän valon läpäisy säätyy jopa 5...80 %. /30/

**Fotokromaattisten** materiaalien optiset ominaisuudet muuttuvat valon vaikutuksesta ja palaavat alkuperäisiksi pimeässä. Valon vaikutuksesta valon absorpoituminen materiaaliin lisääntyy ja valonläpäisy vähenee. Fotokromaattisia materiaaleja valmistetaan sekä lasista että muovista. Fotokromaattisista lasista on jo pitkään valmistettu aurinkolaseja. Toistaiseksi fotokromaattisia lasia ei valmisteta kyllin suurina levyinä, että niitä voitaisiin käyttää suurissa lasipinnoissa kuten valokatteissa. Tulevaisuudessa, kun fotokromaattisia lasia ruvetaan valmistamaan float-menetelmällä, tulee suurienkin lasien valmistaminen mahdolliseksi. Kestävyys ja fotokromaattisten ominaisuuksien pysyvyys korkeissa lämpötiloissa kaipaavat vielä parantamista. /31/

Fotokromaattinen lasi toimii automaattisesti, joten erityistä säätölaitteistoa ja auromatisoitua ohjausta ei tarvita. Toisaalta suojakseen ei voi tarpeen tullen vaikuttaa. Fotokromaattiset aineet säättävät vain näkyvän valon aallonpituuksia, minkä vuoksi ne soveltuvat vain häikäisy-suojaukseen.

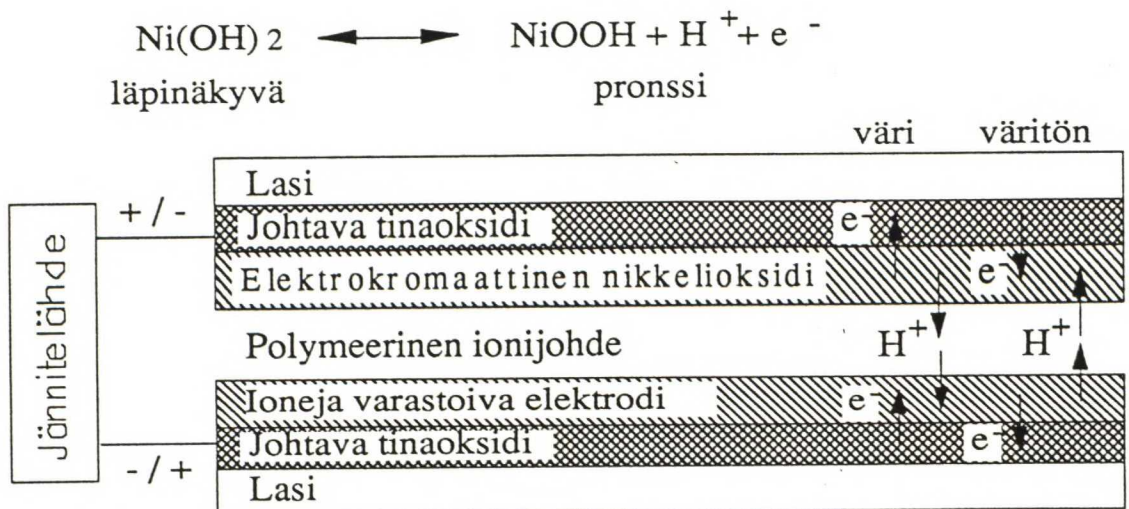
**Termokromaattisen** lasin optiset ominaisuudet muuttuvat lämpötilan vaikutuksesta; lämpötilan noustessa säteilyn läpäisy pienenee. Läpäisykyvyn muuttuminen perustuu lämmön aiheuttamiin molekyyli-muutoksiin; lämpötilan kasvaminen vähentää läpäisyä kasvattamalla molekyylien halkaisijaa tai lisäämällä aineessa värähtelevien hiukkasten määrää. Termokromaattisilla aineilla voidaan säätää sekä näkyvää valoa, että lämpösäteilyä. Termokromaattisia aineita valmistetaan useista aineista, joista mielenkiintoisimmilta tällä hetkellä vaikuttavat niinkutsut TALD-geelit. Niiden muutoslämpötila voidaan säätää 9...90 °C. TALD-geelit ovat kemiallisesti stabiileja sekä UV-säteilyn, valon- ja pakkasenkestäviä (-50°C). Säteilyn läpäisyä voidaan vähentää 40 %. Termokromaattisista aineista valmistetaan kalvoina tai pinnoitteina, jotka liitetään ikkunamateriaaliin. /18,31,32/

Termokromaattiset aineet toimivat automaattisesti ilman ohjausta kuten fotokromaattiset aineet. Koska termokromaattiset aineet kykenevät säätämään valonläpäisyn lisäksi termistä läpäisyä, voidaan niitä käyttää häikäisy-suojauksen lisäksi lämpösuojaukseen.

**Sähköön reagoivien** lasien toiminta perustuu sähköön aiheuttamiin molekyyli-muutoksiin (elektrokromaattinen lasi) tai molekyylien yhdensuuntaistumiseen sähkökentän vaikutuksesta (nestekidelasi).



Elektrokromaattinen lasi koostuu orgaanisesta tai epäorgaanisesta eristeaineesta lasikerrosten välissä. Lasi on elektrodien kautta kytketty pienjännitelähteeseen. Lasin molekyylit sitovat tai vapauttavat elektroneja sähkökentän vaikutuksesta ja samalla materiaalin optiset ominaisuudet muuttuvat (kuva 2.19). Materiaali muutetaan läpinäkyvästä läpinäkymättömäksi muuttamalla sähkökentän suuntaa. Elektrokromaattisten lasien hyvänä puolena on, että ne tarvitsevat sähköä vain tilan muutoksessa, ne "muistavat" ohjauksen pitkään (12...48 h), niiden tarvitsema jännite on pieni (1...5 V), ne ovat heijastavia kaikissa tilanteissa ja niitä voidaan käyttää laajoilla pinoilla. Epäorgaanisten materiaalien osalta kehitystä tarvitaan vielä eliniän pidentämiseksi ja reagointiajan lyhentämiseksi. Orgaanisten aineiden kanssa on ollut ongelmia UV- säteilyn aiheuttaman epästabiilisuuden vuoksi.

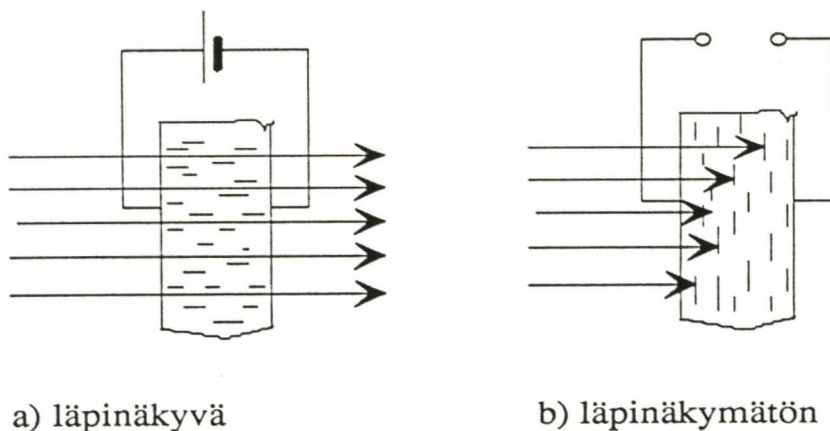


Kuva 2.19 Elektrokromaattisen lasin rakenne ja toimintaperiaate. Lasikerrosten ja elektrodeina toimivien tinaoksidikerrosten välissä on elektrokromaattista ainetta tässä tapauksessa nikkelioksidia. Positiivinen jännite aineen yli hajoittaa nikkeliidihydroksidin nikkelioksidihydroksidiksi vapauttaen samalla positiivisia vetyioneja sekä elektroneja. Tällöin aine muuttuu läpinäkymättömäksi. Vastakkaissuuntaisesta jännitteestä elektronit ja vetyionit yhdistyvät jälleen nikkelioksidiksi ja aine kirkastuu. /40/

Lämpösäteilyn suodattamiseen soveltuvat kiteisestä volframioksidista,  $\text{WO}_3$ , valmistetut elektrokromaattiset lasi, joilla on päästy lyhytaaltoisen lämpösäteilyn alueella 20...75 % suodatukseen. Kaupalliset sovellukset eivät tosin vielä yllä tällaisiin suodatustasoihin.

Nestekiteisen aineen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 2.20. Valonläpäisyn säätäminen perustuu aineen molekyyliden kääntymiseen yhdensuuntaisiksi sähkökentän vaikutuksesta, jolloin aine muuttuu läpinäkymättömästä läpinäkyväksi.

Elektrodeina voivat toimia johtavapintaiset lasilevyt, joiden väliin nestekiteinen aine laitetaan. Säättäminen vaikuttaa auringonsäteilyn kaikkiin aallonpituuksiin. Nestekiteinen aine on läpinäkyvä vain, kun siihen vaikuttaa jännite. Ongelmana ovat olleet lasin jääminen sumuiseksi ja UV-säteilyn aiheuttama epästabiilisuus.



Kuva 2.20 Nestekidelasin toimintaperiaate. /30/

Valonläpäisyyään sähköön vaikutuksesta muuttavat ikkunamateriaalit ovat olleet suuremman mielenkiinnon kohteena kuin muut valonläpäisyä säättävät materiaalit, koska niiden valonläpäisyä voidaan säätää aktiivisesti riippumatta lämpötiloista tai valon määrästä. Siten niiden käyttömahdollisuudet ovat laajemmat. Automaattisen säädön lisäksi manuaalinen ohjaus on mahdollinen. Aurinkosuojauksen lisäksi lasia voidaan käyttää häikäisy ja näkösuojaukseen. Suomessa tietävästi toistaiseksi ainoa sähköön reagoivien lasien suurempi käyttökohde on Insinööritoimisto Tauno Nissinen Oy:n uuden toimitalon neuvotteluhuone, jonka seinät ovat nestekidelasia. Nestekidelasia on kaupallisesti saatavilla. Lasin hinta nousee useisiin tuhansiin markkoihin neliömetriltä. /18,31,32/

### 2.3.3.6 Yhteenveto materiaaleista

Valokatemateriaalilta vaaditaan hyvää valonläpäisyä ja lämmöneristyskykyä. Lisäksi materiaalin on oltava kestävä ja turvallinen. Materiaalin UV-suojaus, hinta ja meluisassa ympäristössä äänieristys ovat myös tärkeitä ominaisuuksia. Joissakin tapauksissa voidaan materiaalia käyttää häikäisysuojaukseen.

Taulukoon 2.5 on kerätty erilaisten valoa läpäisevien materiaalien ominaisuuksia ja liitteeseen 2 joidenkin materiaalien säteilynläpäisy-spektrejä.



Taulukko 2.5 Valoa läpäisevien materiaalien ominaisuuksia.  
/13,24,30,36,37,38,40,42/

materiaali	optinen läpäisy / %	k-arvo W/m <sup>2</sup> K	hinta mk/m <sup>2</sup>	UV-säteilyn läpäisy / %
kirkas lasi	87...89	5...6	200	47...62
värjätty lasi	26...60	5,6...5,8	200	7...27
2 x kirkas lasi	76...80	2,8...3,0	350	31...46
3 x kirkas lasi	66...71	1,8...2,0		
heijastava, kirkas Stpsol-lasi	43...44	5,6...5,8	250	19...22
heijastava, värjätty Stopsol-lasi	19...33	5,6...5,8	250	4...9
selektiivilasi, Comfort ja kirkas lasi	66...69	1,8...2,6	550	24...29
kaksi kirkasta lasia laminoituna	83...88	5,5...5,6		3...4
selektiivilasi, Comfort ja värill., heijastava Stopsol	16...35	1,8...2,6	550	4...11
3 x kirkas lasi, Argon-kaasu ja selektiivinen pinnoite	56...72	1,2		
akryylilevy, Finnacryl (3mm)	92	lämmön- johtavuus 0,21 W/Km	200	
PC-muovi Makrolon (6mm)	80	3,6	660	
nestekidelasi	20...60	terminen läpäisy 20...60 %	3500...4000	
elektrokromaattinen lasi	21...70 (NiO)	terminen läpäisy 20...60 (WO <sub>3</sub> )		

Sekä laseista että muoveista löytyy lämpösuojaukseen soveltuvia materiaaleja. Parhaat optisten ja termisten ominaisuuksien yhdistelmät saavutetaan yhdistelemällä eri materiaaleja selektiivisiin kalvoihin ja kaasukerroksiin. Varsinkin selektiiviset kalvot parantavat huomattavasti lämpöominaisuuksia vähentämättä merkittävästi valonläpäisyä. Selektiiviset pinnoitteet ovat herkkiä naarmuuntumaan, joten ne on aina suojattava. Norjassa valokatteen k-arvoksi suositellaan 1,5...2,0 W/Km<sup>2</sup>. Tätä parempi eristävyys estää lumen sulamisen ja liukumisen pois katolta. Huonompi eristävyys aiheuttaa veden tiivistymistä kylmällä lasipinnalla lämpimän sisäilman vaikutuksesta. /39/ Tulevaisuuden materiaaleja ovat jalokaasutäytteet materiaalikerrosten välissä, valoa läpäisevät eristeet sekä optista ja termistä läpäisyä säättävät materiaalit.

Lämpöominaisuuksien parantaminen vähentää aina valonläpäisyä. Erityisen paljon valonläpäisy vähenee värjäyksessä. Valonläpäisyä voidaan pienentää tarkoituksella häikäisysuojauksen aikaansaamiseksi. Häikäisysuojaukseen sopivat värjätty lasi ja

muovi sekä himmeät materiaalit. Himmeiden materiaalien huonona puolena on valon hajoamisesta johtuva varjonmuodostuksen huonontuminen. Himmeistä materiaaleista päivänvalon suuntaomaisuuden säilyttävät jotkin aerogeelit ja kapillaarirakenteiset valoa läpäisevät eristeet. Kapillaarirakenteilla pystytään myös kapillaaripillien suuntauksen avulla ohjaamaan valoa haluttuun suuntaan. /32/ Valonläpäisyä säättävät materiaalit olisivat häikäisysuojauksessa erittäin käyttökelpoisia. Säädettyjä materiaaleja ovat ainakin toistaiseksi muihin materiaaleihin ja aurinkosuojiin verrattuna erittäin kalliita.

Kestävyyden ja turvallisuuden kannalta lasikatteessa täytyy sisimpänä lasina käyttää karkaistua tai laminoitua lasia. Muoveista parhaita kestävyyden suhteen ovat polykarbonaatit.

UV-suojaukseen käytetään UV-säteilyä suodattavia muovikalvoja esimerkiksi laminoidussa lasissa lasikerrosten välissä. Lasin värjäys myös vähentää UV-säteilyn läpäisyä.

#### 2.3.4 Valokatteen huolto

Valokatteen lasitus täytyy ajoittain pestä sisältä ja ulkoa. Puhdistustarpeeseen vaikuttavat katemateriaali, katon kaltevuus ja puitejärjestelmä, ilman puhtaus, lintujen vierailut katteella, valokatteisen tilan toiminnot, jotka asettavat tiettyjä vaatimuksia katteen puhtaudelle sekä lasitetun osan sijainti suhteessa katettuun tilaan. /1/

Vesi ja lumi puhdistavat katteen sen pintaa pitkin valuessaan. Jotkut ovat jopa sitä mieltä, että, jossei katteessa ole lumen ja veden kulkua estäviä rakenteita, ei yli 30° kallistettuja pintoja tarvitse pestä lainkaan. Joidenkin rakennusten lasikatteet pestään pari kertaa vuodessa, toiset joka toinen vuosi. Useimmiten pesu painepesurilla riittää. Katteen ulkopuolelle on muistettava sijoittaa vesipiste. /1,41,42/

Sisäpuolelta kate likaantuu yleensä varsin hitaasti. USA:ssa tehdyn tutkimuksen mukaan lasien sisäpuolen pesuväli voisi olla 7...10 vuotta. Yleensä lasit pestään ehkä kerran vuodessa tai joka toinen vuosi. Myös katteeseen sijoitetut tuuletus- ja savunpoistoluukut, aurinkosuojat ja tekniset laitteet vaativat huoltoa ja korjausta. /1,5/

Katteen huolto on vaikeaa vain silloin, kun sitä ei suunnitteluvaiheessa ole otettu huomioon. Jälkeenpäin tehdyt ratkaisut ovat yleensä kalliita, eikä tulos ole yhtä hyvä kuin etukäteen suunnitelluilla järjestelyillä. Huollon huomiotta jättäminen saattaa johtaa myös hengenvaarallisiin akrobatiasuorituksiin, kun katetta yritetään puhdistaa. Huolto vaatii erityisjärjestelyjä silloin, kun tilan korkeus ylittää viisi



metriä; tätä korkeammalla ei työturvallisuusmääräysten mukaan saa tikkaila työskennellä.

Katteeseen voidaan rakentaa pysyvät huoltolaitteet, jotka voivat olla kiskoilla liikkuvia kelkkoja, riipputelineitä, tikkaita tai siltoja katteen ulko ja sisäpuolella. Pysyvien rakennelmien huonona puolena on se, että ne ovat jatkuvasti näkyvissä. Mikäli kiinteät huoltolaitteet otetaan riittävän varhaisessa vaiheessa huomioon, voidaan niille löytää luonteva ja kätevä sijoituspaikka. Rakennelmat voivat olla myös poistostettavia.

Jos pysyviä rakennelmia ei rakenneta, voidaan huoltotoimet tehdä nosturia apuna käyttäen. Tällöinkin on suunnitteluvaiheessa otettava huomioon, että nosturi pääsee valokatteeseen tilaan ja etteivät kiinteät kalusteet estä sen pääsyä tarpeellisiin paikkoihin. Myös katteen ulkopuolella on nosturin sijoittaminen pesun ajaksi huomioitava. Alle kymmenen metrin korkuisiin tiloihin voidaan käyttää nostureita, jotka ovat pienikokoisia ja keveitä. Pienet nosturit ovat myös suhteellisen edullisia. Yli kymmeneen metriin nostavien nostureiden koko kasvaa huomattavasti, ja niistä tulee painavia. Suuret nosturit ovat niin kalliita, että ne yleensä tarpeen tullen vuokrataan.

Yleissääntönä voidaan sanoa, että jos huoltotarve on jatkuvaa ja usein toistuvaa, kannattaa huoltaminen tehdä mahdollisimman yksinkertaiseksi joko kiinteillä rakennelmilla tai hankkimalla oma helppokäyttöinen nosturi. Jos huoltaminen on hankalaa, kannatta järjestelmät suunnitella sellaisiksi, että huollon tarve on mahdollisimman vähäinen.

/43/

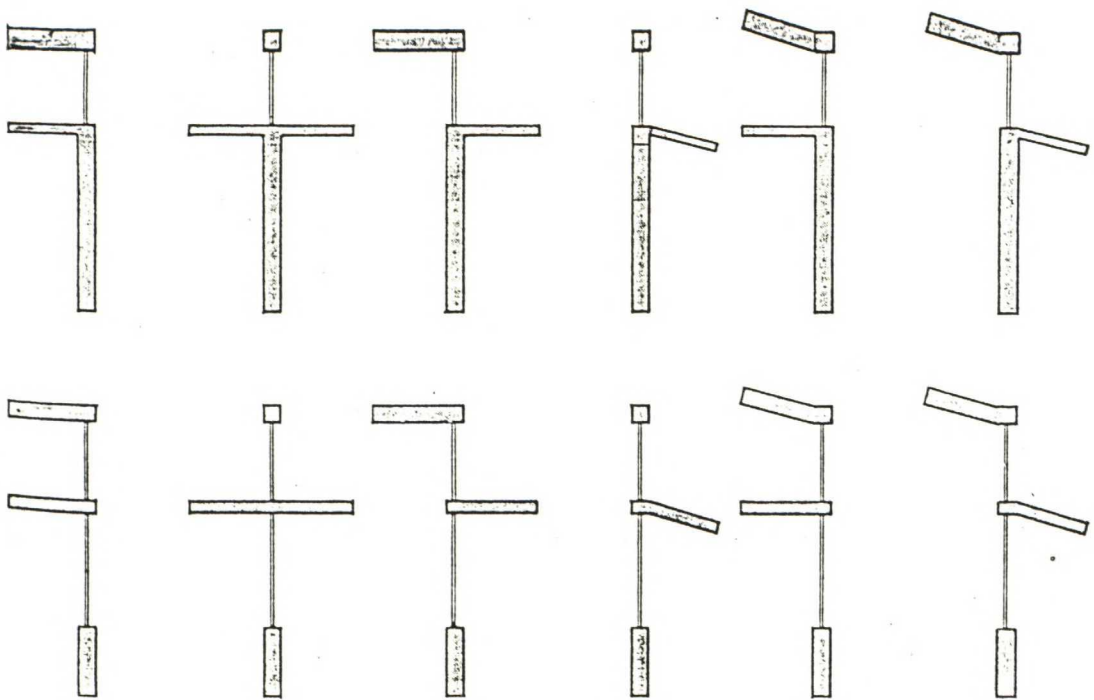
### 2.3.5 Päivänvalon siirto

Päivänvalon siirrolla tarkoitetaan päivänvalon tuomista tiloihin, joissa sitä ei ole tai joissa sitä ei ole riittävästi. Kuten aikaisemminkin on jo todettu ihmiset viihtyvät päivänvalossa paremmin kuin keinovalossa. Päivänvalon siirtäminen vähentää keinovalon tarvetta ja jos keinovaloa säädetään, voidaan säästää energiaa. Päivänvalon siirtämisen motiivina voi olla myös siirtää päivänvaloa niihin huoneen osiin, joissa sitä on vähemmän ja parantaa siten päivänvalon jakautumista huoneeseen. Päivänvalo sisältää useimpiin muihin valonlähteisiin verrattuna suhteellisesti vähemmän lämpösäteilyä. Kun päivänvalon siirtomenetelmät vielä usein siirtävät tehokkaammin valoa kuin lämpöä, voidaan päivänvaloa siirtämällä vähentää valaistuksen tuottamaa lämpökuormaa. Päivänvalon siirtomenetelmiä on hyödynnetty lähinnä Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Suomessa menetelmät mielletään ilmeisesti liian eksoottisiksi ja riskialttiiksi.

### 2.3.5.1 Valohyllyt ja muut valoa heijastavat ratkaisut

Valohylly on tuhansia vuosia vanha keksintö, joka on viimeaikoina otettu uudelleen käyttöön. Valohylly suojaa suoralta auringonvalolta välittömästi ikkunan lähellä ja toisaalta heijastaa yläpintansa ja katon kautta päivänvaloa syvälle huoneeseen. Valohylly pienentää huoneen päivänvalosuhteita verrattuna suojaamattomaan ikkunaan, mutta valohyllyn kanssa päivänvalo jakautuu tasaisemmin huoneeseen.

Tavallisesti valohylly jakaa siviikkunan kahteen osaan: alempaan näköalaikkunaan ja ylempään ikkunaan, jonka kautta auringon- ja taivaanvalo pääsee valohyllylle. Valohylly voi olla huoneen ulkopuolella, sisäpuolella tai molemmilla puolilla (kuva 2.21). Ulkopuolinen valohylly on parempi ratkaisu kuin sisäpuolinen hylly, koska se heijastaa enemmän valoa huoneen takaosaan ja estää auringon lämpöseäteilyn pääsemisen sisälle rakennukseen. Valohyllyn ei tarvitse olla vaakasuora. Kallistaminen vaakatasosta alaspäin parantaa aurinkosuojausta, mutta vähentää auringonvalon heijastumista huoneeseen. Kallistaminen vaakatasosta ylöspäin puolestaan parantaa valon heijastumista, mutta huonontaa aurinkosuojausta.



Kuva 2.21 Erilaisia valohylly-yhdistelmiä. /3/

Jotta valohylly toimisi kunnolla, on huoneen oltava riittävän korkea. Valohyllyn tulee olla riittävän kaukana katosta, jotta siitä olisi hyötyä, mutta toisaalta se ei saa olla silmien tason alapuolella, jottei se aiheuttaisi häikäisyä.

Uutta nykyaikaisissa valohyllyissä on heijastimen lisääminen hyllyn yläpintaan.



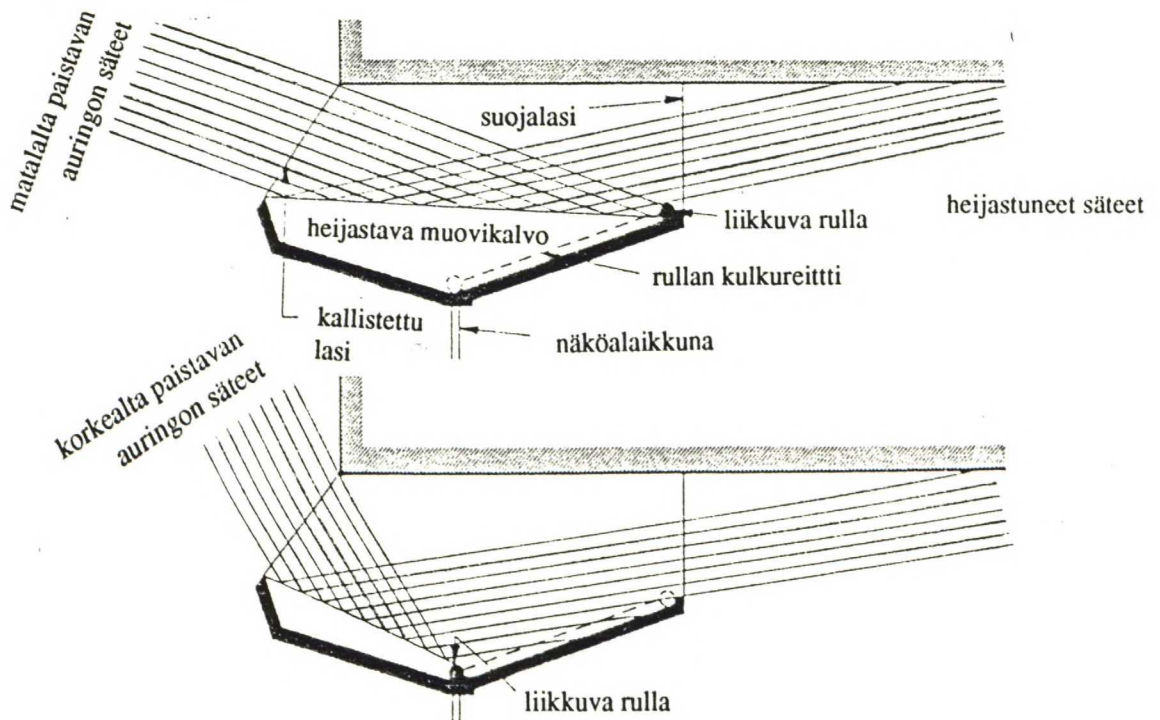
Häikäisyä saattaa esiintyä, jos heijastin on silmien korkeuden alapuolella tai jos heijastin muodostaa kattoon hyvin kirkkaan auringon kuvan. Peilimäisesti heijastava pinta vaatii enemmän puhdistusta kuin tasahajoittava pinta, koska likaisen peilin heijastuskyky on alhainen ja se heijastaa "likakuvioita" kattoon.

Yläpuolisessa ja alapuolisessa ikkunassa voidaan käyttää erilaisia laseja parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Näköalaikkunaan voidaan esimerkiksi laittaa värjätty lasi paremman aurinkosuojauksen vuoksi. Ylemmässä ikkunassa voidaan käyttää kirkasta lasia, joka läpäisee mahdollisimman paljon valoa.

Ulkopuoliseen valohyllyyn liittyvät samat ongelmat, jotka koskevat auringonsuojalippojakin; valohylly ei suojaa matalalta paistavalta auringolta, ja se kerää lunta ja likaa. Tiloissa, jotka liittyvät sivuikkunan kautta valokatteeseen tilaan, voidaan valohyllyjä käyttää parantamaan päivänvalon jakautumista ja estämään häikäisyä ja auringon lämpövaikutuksia lumen ja likaantumisen aiheuttamatta huolta. Matalta paistava aurinko aiheuttaa valokatteisessa tilassa harvoin ongelmia, koska valokatteisen tilan seinät varjostavat aurinkoa.

/3,20,30,44/

Useilla auringonkorkeuksilla toimiva valohyllyratkaisu saadaan kuvan 2.22 järjestyillä. Siinä heijastavana elimenä on muovikalvo, jonka kulmaa voidaan muuttaa auringon korkeutta vastaavasti siten, että auringonsäteet heijastuvat huoneeseen aina samassa kulmassa.



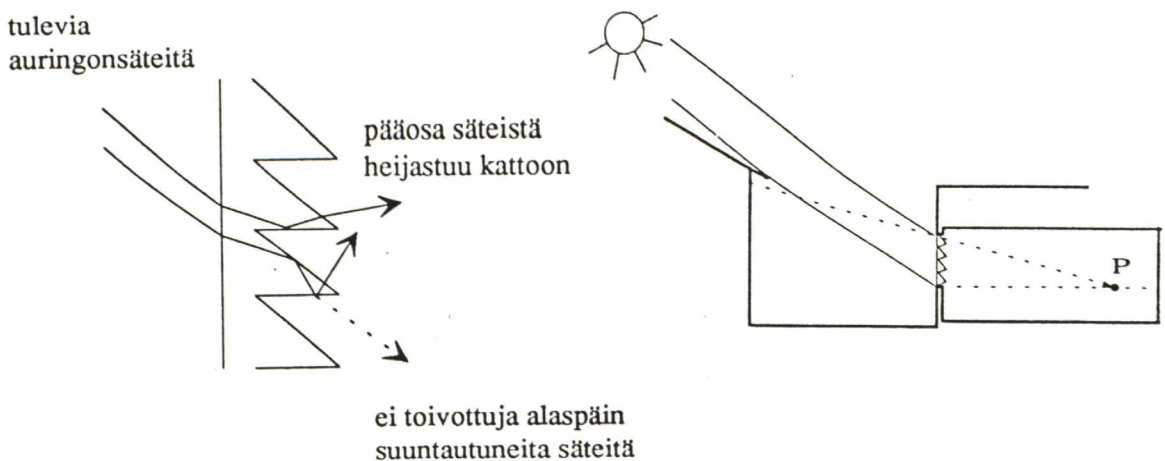
Kuva 2.22 Auringon eri korkeuksilla toimiva valohyllyratkaisu VALRA (Variable Area Light Reflecting Assembly). /44/

Kiinteät säleet ja säleverhot voivat ohjata valoa valohyllyn tapaan. Myös niiden heijastaviin pintoihin voidaan lisätä heijastimet. Säleikköjen ongelma valonohjauksessa on, että ne toimivat optimaalisesti vain tietyllä auringon korkeudella. Optimiasentoa korkeammilla auringonkorkeuksilla valo heijastuu ylemmän säleen alapuolelta alas päin huoneen etuosaan huonontaen valon jakautumista. Valohyllyjen tapaan kiinteät säleet eivät suojaa matalalta auringolta. Säleverhot voidaan asettaa aina auringonkorkeuteen nähden optimiasentoon. Ongelmaksi tulee säleiden ohjaus, joka on automatisoitava, jotta ohjauksen toimimintaan voitaisiin luottaa.

Kattoikkunoiden yhteydessäkin heijastimia on käytetty parantamaan päivänvalon jakautumista tai päivänvalon saatavuutta tiloihin. Heijastimet voivat kohdistaa valon suoraan valaistavaan kohteeseen tai epäsuorasti laajalle alueelle.

### 2.3.5.2 Linssit ja prismat

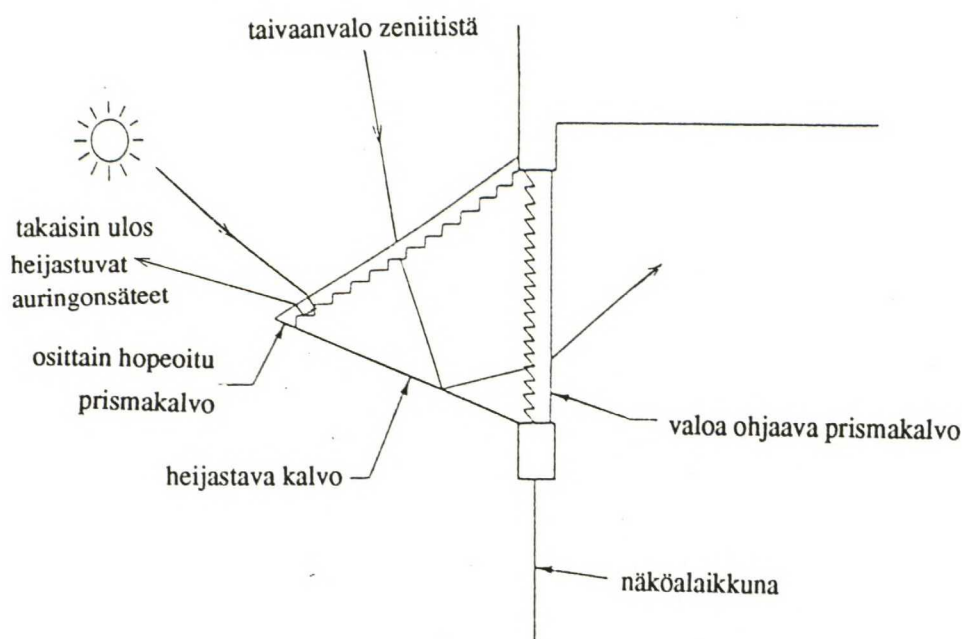
Prismat ovat lasista tai muusta läpinäkyvästä materiaalista valmistettuja särmiöitä. Ne ohjaavat valoa taittumisen ja kokonaisheijastuksien avulla. Prismoja voidaan käyttää samalla periaatteella kuin säleisiin kiinnitettyjä peilejä (kuva 2.23). Prismoihin perustuva ohjaus pystyy heijastimiin perustuvan ohjauksen tavoin toimimaan oikein vain yhdellä auringonkorkeudella. Prismat estävät näkemisen lasin läpi, joten ikkunassa on oltava näköalaikkuna ja valonohjausikkuna erikseen. Prismat läpäisevät vähemmän valoa kuin kirkas ikkuna prismassa tapahtuvien heijastusten ja materiaalissa tapahtuvien häviöiden vuoksi. Prismojen hyvänä puolena on, että ne voidaan laittaa lasikerrosten väliin, jolloin niiden likaantuminen on vähäistä. Prismat saattavat aiheuttaa valon jakautumista eri aallonpituuksiin. Jos käytetään useita vierekkäisiä pieniä prismoja, aallonpituudet sekoittuvat toisiinsa eikä valon hajoaminen näy muualla kuin reuna-alueilla.



Kuva 2.23 Auringonvaloa voidaan ohjata prismoilla samaan tapaan kuin säleisiin kiinnitettyillä heijastimilla. /44/



Kuvassa 2.24 olevalla järjestelmällä estetään suora auringonvalo samalla kun päästetään taivaan valo huoneeseen. Kallistetun prismapinnan prismojen toinen sivu on päällystetty heijastavalla aineella. Prismat on asetettu siten, että ne heijastavat laajasta kulmasta tulevan säteilyn poispäin rakennuksesta. Korkealta tuleva taivaan valo läpäisee kallistetun prismapinnan ja heijastuu yhden heijastavan pinnan kautta toiseen prismapintaan. Toinen prismapinta ohjaa valon kattoon. Kuvan prismat voisivat olla myös liikkuvia, jolloin kallistettujen prismojen toisia sivuja ei tarvitse tehdä heijastaviksi. Edellä kuvattu järjestelmä sopii erittäin hyvin näyttöpääteloihin. Yleensä näyttöpäätteen sijoittaminen ikkunalliseen huoneeseen on vaikeaa ruudusta tapahtuvien heijastusten ja ikkunan ja ruudun suuren luminanssieron takia. Prismaikkunan luminanssi on alhaalta katsottuna vain 100...300 cd/m<sup>2</sup>. /44/

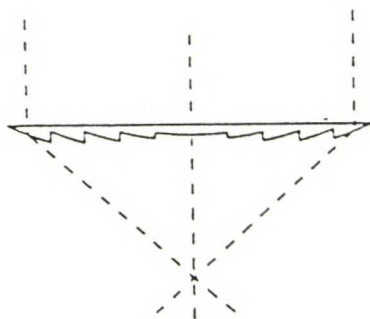


Kuva 2.24 Prismajärjestely, joka estää suoran auringonvalon ja kerää taivaan valoa. /44/

Linssejä on käytetty kattoikkunoissa levittämään auringonvalo laajalle alueelle. Sekä kupera että koveria linsejä voidaan käyttää, mutta, koska kupera linssi keskittää säteet, se saattaa sytyttää helposti syttyviä materiaaleja tuleen. Isot linssit ovat kalliita, paksuja ja painavia. Siksi suuret pinnat tehdään useista pienistä toisiinsa liitetyistä linseistä tai linssin osista (fresnel-linssi kuva 2.25). Linssin keveyden lisäksi etuna on monipuoliset valonmuokkausmahdollisuudet. /44,45/

Uudenlainen, kehitysasteella oleva heijastavia ja säädettäviä sälekaihtimia vastaava ratkaisu on kolmiulotteinen hila (holografic diffracting grating). Tavallinen kaksiulotteinen hila taivuttaa sen läpi kulkevia tietynsuuntaisia valonsäteitä, mutta

suurin osa säteistä läpäisee hilan taipumatta. Holografiatekniikalla pystytään valmistamaan kolmiulotteisia hiloja, jonka läpi kulkevat säteet poistuvat kaikki samassa, hilasta riippuvassa kulmassa. Tällaisen hilan hyvänä puolena on se, että se toimii usealla auringonkorkeudella ilman kallista ohjauslaitteistoa, se on ohuempi kuin muut ratkaisut ja se voidaan valmistaa teollisesti prässäämällä. Ongelmana on ollut valonläpäisy, jota parannettaessa läpäisevän valon suuntaus huononee. Toistaiseksi laboratoriokokeissa on saavutettu 30...70 % valonläpäisyyttä. Valon hajoaminen eri aallonpituuksiin on myös ollut ongelmana. /30,44,46/



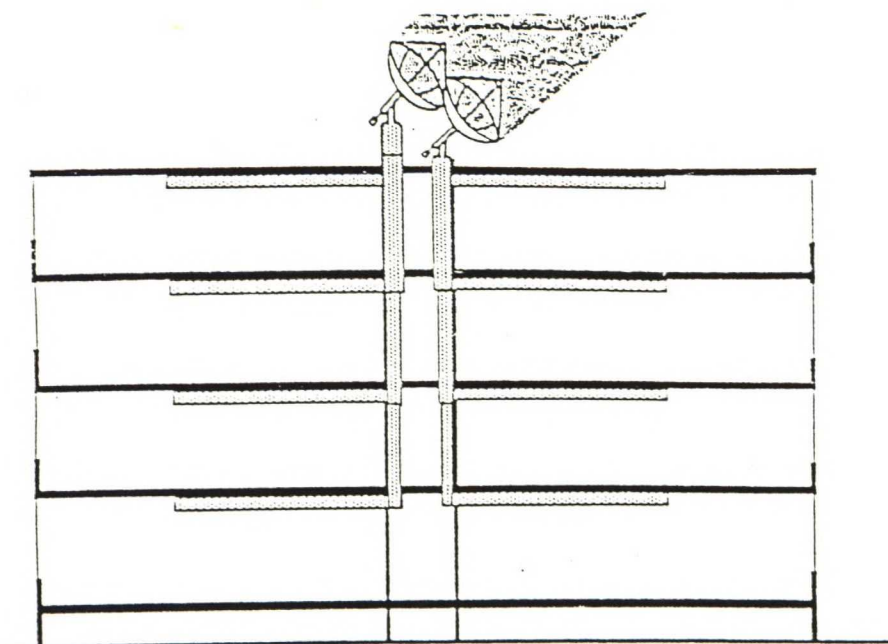
Kuva 2.25 Taso-kuperan fresnel-linssin kuperasta pinnasta on poistettu osa. Näin linssin optisia ominaisuuksia huonontamatta saadaan suurista linseistä keveitä. /8/

### 2.3.5.3 Valoputket

Kuvassa 2.26 on esimerkki valoputkijärjestelmästä. Sen avulla päivänvaloa siirretään tiloihin, joihin sitä ei muuten pääse. Valoputkijärjestelmä koostuu kolmesta osasta: valon kerääjästä, valon siirtotienä toimivasta putkesta sekä valon huonetilaan säteilevästä osasta. Järjestelmän jokaista osaa varten on tarjolla useita teknisesti erilaisia ratkaisuja.

Valonkerääjä on valoputkijärjestelmän toiminnan kannalta järjestelmän kriittisin osa. Kerääjän tehtävä on kerätä mahdollisimman paljon auringon- ja taivaanvaloa ja keskittää se valoputken päähän. Valon kerääminen ja keskittäminen ovat keskenään ristiriitaisia vaatimuksia siten, että toisen parantaminen huonontaa toista. Jos halutaan kerätä valoa laajasta kulmasta, kärsii valon keskittämiskyky. Tällaiset kerääjät on yleensä tarkoitettu pääasiassa hajasäteilyn keräämiseen ja ne asetetaan kiinteästi maantieteellisen sijaintinsa perusteella valittuun optimiasentoon. Liikkuvat kerääjät seuraavat aurinkoa mikroprosessorin ohjaamana ja keräävät lähinnä suoraa auringonsäteilyä. Auringon seuraaminen mahdollistaa pienen keräyskulman, jolloin valo voidaan keskittää tarkasti valoputken päähän. Liikkuvat kerääjät ovat huomattavasti kiinteitä kalliimpia, niiden ohjelmoiminen on monimutkaista ja ne vaativat paljon huoltoa.





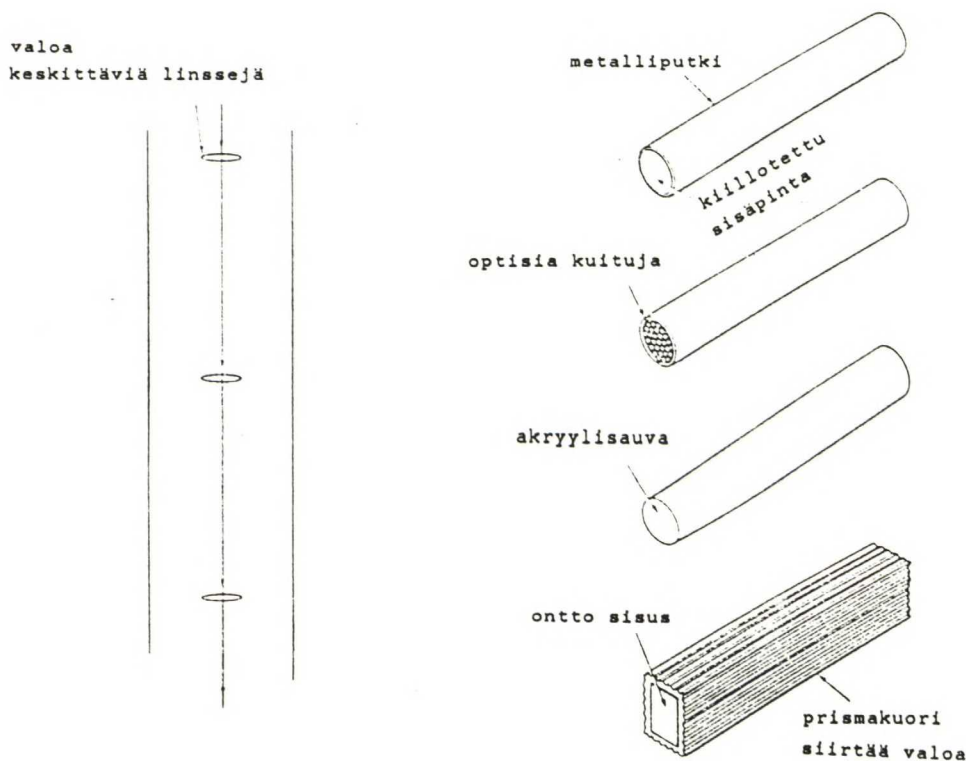
Kuva 2.26 Valoputkijärjestelmä /8/

Yksinkertaisin valoputki on tyhjä kuilu katolta valaistavaan tilaan. Putkessa kulkevista säteistä eniten vaimenevat ne, jotka kulkevat vinossa ja heijastelevat putken seinämistä. Putken suuntaisia säteitä vaimentavat vain siroaminen ilmassa olevista pölyhiukkasista. Siirtotien hyötysuhteen parantamiseksi voidaan putken sisäpinnan heijastavuutta parantaa tai käyttää valoa keskittäviä linsejä, jotka estävät häviöitä aiheuttavat heijastukset putken seinistä (Kuva 2.27). Paras heijastava sisäpinta saadaan dielektrisillä heijastinkalvoilla, joiden heijastuksen hyötysuhde on jopa 99 %. Valoa voidaan heijastinkalvon avulla siirtää hyvällä hyötysuhteella kymmeniä metrejä. Linssit aiheuttavat häviöitä, koska kaikki valo ei läpäise niitä vaan osa heijastuu takaisin valon tulosuuntaan. Tyhjiä valoputkien ongelmana ovat putken seinämien likaantumisen ja ilman pölyhiukkasten aiheuttamat häviöt. Putket tehdään usein suuriksi, koska onton putken valonsiirtokyky paranee putken poikkipinta-alaa kasvatettaessa. Suurten putkien sijoittaminen rakennukseen on hankalaa. Ontot putket ovat kerrostasojä lävistäviä avoimia tiloja, jotka muodostavat paloturvallisuuden kannalta riskitekijän. Kylmässä ilmastossa putki aiheuttaa energiahukkaa, putkeen voi kondensoitua vettä ja vesi ja jäätyminen vahingoittavat putkea ja lisäävät häviöitä.

Prismakalvoon perustuvassa valoputkessa valo kulkee sekä ilmassa, että ohuessa muovikalvossa. Prismakalvon ulkopuolinen pinta koostuu V:n muotoisista prismoista, joista putken sisällä kulkeva valo kokonaisheijastuu takaisin putkeen. Valo kulkee pääosin ilmassa ja vain pieni osa siitä absorboituu prismoihin.

Onttojen putkien lisäksi valoputkina on käytetty nesteellä täytettyjä putkia, muovi-

ja lasisauvoja ja optisia kuituja. Optisilla kuiduilla on parhaimmat valonsiirto-ominaisuudet, mutta ne ovat kalliita. Toisaalta ne ovat pienikokoisia ja ne on helppo sijoittaa vanhaankin rakennukseen muihin ratkaisuihin verrattuna pienin kustannuksin.



Kuva 2.27 Erilaisia valoputkiratkaisuja. /44/

Valoputken sisällä kulkevan valon vaakasuora siirtäminen ja valon jakaminen eri puolille rakennusta on teknisesti hankalaa muita ratkaisuja kuin optisia kuituja käytettäessä. Valon jakamiseksi sivuhaaroihin joudutaan käyttämään erilaisia peili- ja linssijärjestelyjä, jotka aiheuttavat lisähäviöitä ja ovat optisesti erittäin vaativia. Optisten kuitujen kimppu voidaan kelposti jakaa useaan joustavaan ja helposti sijoitettavaan osaan.

Päivänvaloa siirrettäessä on huolehdittava siitä, ettei valon spektri muutu merkittävästi siirron yhteydessä. Monet valojohteet vaimentavat eritavoin valon eri aallonpituuksia. Jos vaimenemat poikkeavat suuresti toisistaan, spektri vääristyy ja valon väri muuttuu. Positiivisena spektrin vääristymisenä voidaan pitää lämpösäteilyn vaimenemista. Useat valoputket johtavat lämpöä joko hyvin huonosti tai eivät lainkaan.

Valoa huonetilaan jakavaan valoputkijärjestelmän osaan on toistaiseksi kiinnitetty varsin vähän huomiota ja kehitystyötä. Yksinkertaisimmillaan valo säteilee huoneeseen valoputken avoimesta päästä. Valon suuntaamiseen ja jakamiseen on



käytetty putken päähän liitettyjä peilejä, linsejä ja prismoja. On esitetty, että koska päivänvalo siirretään kauas luonnollisista lähteistään ja siirretty valo siten tavallaan menettää luonnollisuutensa, tulisi sen jakaminen huoneeseen tapahtua samankaltaisilla välineillä kuin keinovalonkin jakaminen. Tällainen ajattelu voi kuitenkin estää uudenlaisten, innovatiivisten ratkaisujen syntymisen ja tuottaa keinotekoisia ja kömpelöitä ratkaisuja.

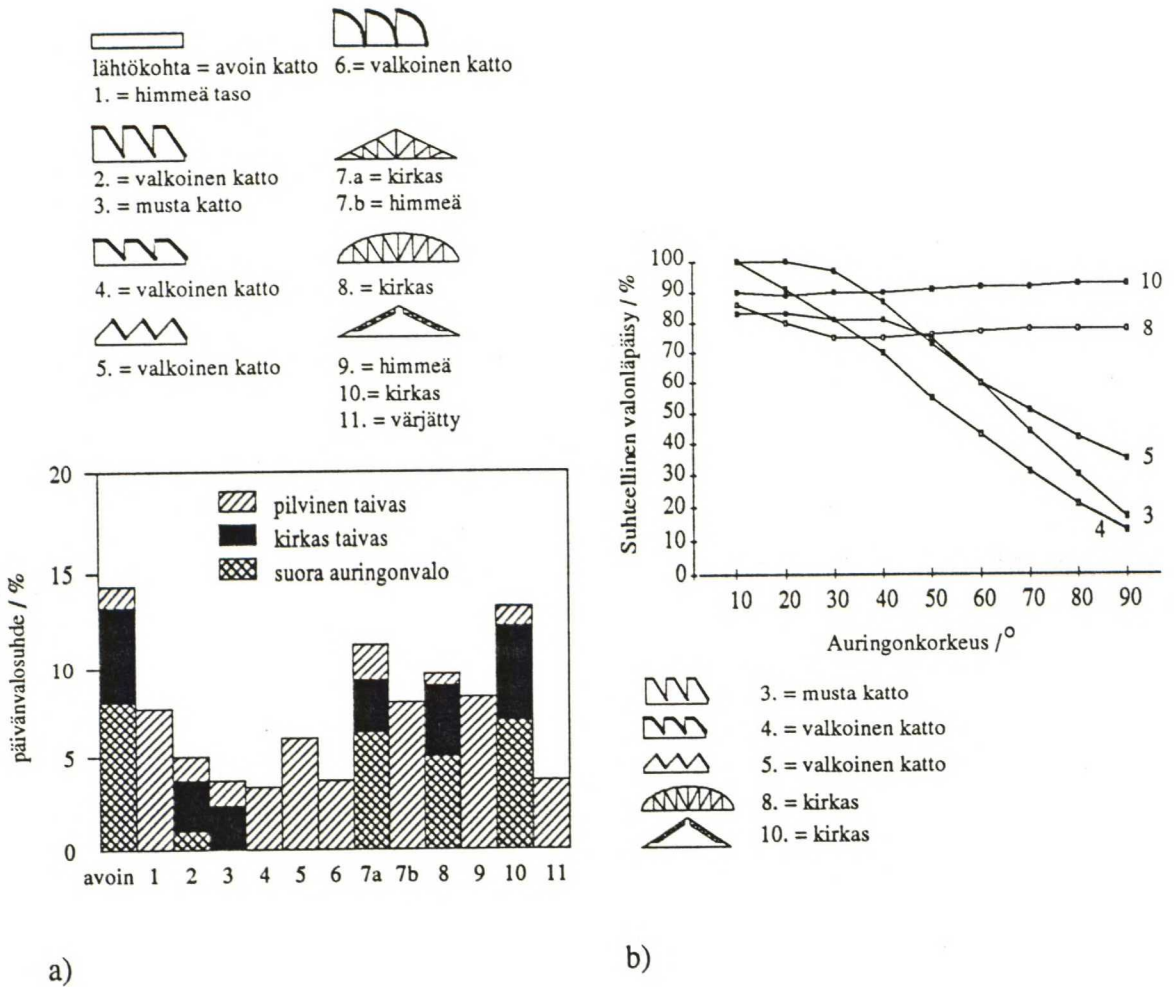
/8,30,44,46/

#### 2.3.5.4 Päivänvalon siirto valokatteisessa tilassa

Valokatteisista tiloista valopiha on eräänlainen valoputki. Rakennuksen keskelle tehdään aukko, jonka avulla tuodaan päivänvaloa rakennuksen keskellä sijaitseviin osiin. Valon jakaminen tapahtuu yleensä valopihaan liittyvien ikkunoiden kautta. "Valoputken" halkaisija on suuri ja se pystyy siirtämään paljon valoa. Vaaleat sisäpinnat ja ylöspäin laajeneva rakenne lisäävät valon saatavuutta alemmissa kerroksissa. Katteen muodolla on merkitystä valoa keräävänä osana kuten kuvasta 2.28 voidaan havaita. Kuvassa 2.28a on esitetty suhteellinen valaistusvoimakkuus (päivänvalosuhte) kymmenkerroksisen valokatteisen sisäpihan keskellä erilaisilla katerakenteilla. Kuvan mukaan kirkkaan taivaan ja suoran auringonvalon tuottamien valaistusvoimakkuuksien suhde muuttuu eri katerakenteilla. Parhaimmilla auringonvalon kerääjillä (7A, 8, 10) auringonvalon tuottama osuus päivänvalosuhteesta on suuri. Mitä herkempi rakenteen valonkeräyskyky on auringonsäteilyn tulokulmalle, sitä pienempi on auringonsäteilyn osuus. Kuva 2.28b havainnollistaa vielä auringon suunnan vaikutusta muutamille a-kohdassa käsitellyille katerakenteille. /21/ Katteeseen voidaan liittää heijastavia, valoa ohjaavia pintoja. Yhden ison tai useamman pienen mikroprosessorin ohjauksesta aurinkoa seuraavan peilin avulla voidaan heijastaa päivänvalo valokatteiseen tilaan.

Valokatteiseen tilaan ikkunoiden kautta liittyviin tiloihin voidaan päivänvaloa siirtää valohyllyjen ja muiden päivänvalon jakautumista parantavien menetelmien avulla. Valokatteiseen tilaan sijoitettavat valohyllyt sälekaihtimet ja muut valonohjaimet, ovat säältä suojassa. Usein vain suojautuminen korkealta paistavaa aurinkoa vastaan on tarpeellista, koska tilaa ympäröivät rakenteet varjostavat matalalta paistavan auringon.

Valokatteiseen tilaan voitaisiin sopivaan, valoisaan paikkaan sijoittaa optisia kuituja tai muita valoputkena toimivia välineitä ja siirtää valoa syvemmälle rakennukseen. Valon siirtotiet saattavat lyhentyä, jolloin valon siirtöhäviöt vähenevät. Kuidun päihin voitaisiin lisätä valoa kerääviä laitteita. Valokatteisessa tilassa kuidunpää ja keräyslaitteet eivät pääsisi likaantumaan samalla tavalla kuin ulkoilmassa. Valon siirtäminen valokatteisesta tilasta edellyttää kuitenkin, että saatavilla on runsaasti valoa. Toteuttamistavan tulee olla yksinkertainen ja edullinen, jotta se kannattaisi.



Kuva 2.28 Valokaterakenteen vaikutus (a) suhteelliseen valaistusvoimakkuuteen (päivänvalosuhteeseen) 10-kerroksisen valokatteisen pihan keskellä ja (b) katteen suhteelliseen valonläpäisyyteen auringon korkeuden funktiona. /21/

### 2.3.6 Sisälle säteilevän päivänvalon määrittäminen

Päivänvaloa sisällä voidaan ennustaa numeerisilla laskentamenetelmillä, graafisilla, yleensä laskentamenetelmistä kehitetyillä menetelmillä tai pienoismallin avulla.

#### 2.3.6.1 Laskentamenetelmät

Viimeisen 90 vuoden aikana on eri puolilla maailmaa kehitetty kymmeniä erilaisia päivänvalon laskentamenetelmiä. Valokatteisia tiloja ajatellen on tärkeää, että menetelmät pystyvät käsittelemään suuria ja monimuotoisia tiloja sekä siviikkunoiden lisäksi kattoikkunoita ja kallistettuja ikkunoita. Jotta päivänvalon ja



keinovalon yhdistämistä voitaisiin suunnitella, on välttämätöntä, että laskentamenetelmällä voidaan laskea päivänvalon jakautuminen tarkasteltavassa tilassa.

Laskentamenetelmät voidaan pääsääntöisesti jakaa kahteen ryhmään:

- huoneen absoluuttisen valaistusvoimakkuuden määrittelevät menetelmät
- suhteellisen valaistusvoimakkuuden määrittelevät menetelmät (yleensä valaistusvoimakkuus ilmoitetaan prosentteina ulkona saatavana olevasta valaistusvoimakkuudesta)

Valaistusvoimakkuuden absoluuttisen arvon laskevat menetelmät ilmoittavat valaistusvoimakkuuden johonkin tiettyyn aikaan tietyssä maantieteellisessä paikassa. Suhteellisen valaistusvoimakkuuden laskevat menetelmät on kehitetty tasaisesti pilvisen taivaan olosuhteista ja perustuvat ajatukseen, että ulko- ja sisäpuolisen valaistusvoimakkuuksien suhde ei muutu vaikka aika tai paikka muuttuisikin. Liitteessä 3 ja 4 on yksityiskohteisesti esitetty päivänvalon laskeminen kahdella laskentamenetelmällä. /3/ Esitetyistä laskentamenetelmistä päivänvalosuhdemenetelmä (liite 3) laskee suhteellisen valaistusvoimakkuuden ja säteilyn siirtymismenetelmä (liite 4) laskee absoluuttisen valaistusvoimakkuuden.

Päivänvalosuhdemenetelmä on yleisimmin käytetty, CIE:n suosittelema päivänvalon laskentamenetelmä. Päivänvalosuhte määritellään päivänvalon sisällä työpöydälle aiheuttaman valaistusvoimakkuuden suhteena vaakatason valaistusvoimakkuuteen puolipallon muotoisen vapaan taivaan alla. Alunperin menetelmä on siis tarkoitettu pilvisen taivaan analysointiin, mutta 80-luvun loppupuolella lisättiin menetelmään yhtälöt myös kirkkaan taivaan tuottamille päivänvalokertoimille. Aivan viimeaikoina on mietitty suoran auringonvalon sisällyttämistä päivänvalosuhdemenetelmään. Suoraa auringonvaloa kuvaisi aurinkokerroin (sunlight factor) joka on suoran auringonvalon tarkastelupisteeseen tuottaman valaistusvoimakkuuden suhde suoran auringonvalon, säteitä vastaan kohtisuoraan olevalle tasolle tuottamaan valaistusvoimakkuuteen. Toistaiseksi aurinkokertoimen laskemiseen ei ole olemassa yhtälöitä. Se voidaan määrittää mittauksilla olemassaoleville rakennuksille tai laboratorioissa pienoismallien avulla. /3,4,6,47/

Säteilyn siirtymismenetelmä on monipuolinen, usein tietokoneohjelmissa käytetty laskentamenetelmä. Laskenta perustuu säteilyn siirtymistä kuvaaviin kertoimiin C (configuration factor) ja F (form factor). Kerroin C kuvaa säteilyn siirtymistä tasolta äärettömän pienelle tasolle ja kerroin F kuvaa säteilyn siirtymistä tasolta toiselle. Kertoimia yhdistämällä voidaan kuvata monimutkaisia tiloja ja kaikkia päivänvalon komponentteja: pilvistä ja kirkasta taivasta, suoraa auringonvaloa sekä sisäpuolisen ja ulkopuolisen heijastuksien tuottamia komponentteja. /3/

Sekä päivänvalosuhde- että säteilyn siirtymismenetelmästä on kehitetty graafinen menetelmä. Graafiset menetelmät ovat nopeita ja yksinkertaisia käyttää, mutta ovat epätarkempia kuin numeeriset menetelmät.

Muista menetelmistä paljon käytettyjä ovat esimerkiksi IES:n suosittelema lumen menetelmä ja tietokonesovelluksissa käytetty Monte Carlo -menetelmä. Lumen menetelmä on tarkoitettu yksinkertaisille siviikkunallisille huoneille. Horisontaalivalaistusvoimakkuus lasketaan kolmessa pisteessä ikkunan keskikohtaa vasten kohtisuoralla suoralla. Monte Carlo -menetelmä jakaa lähdetason pieniin elementteihin, joiden eri suuntiin säteilemä valo jaetaan lukuisiin valopartikkeleihin. Elementin heijastavuus ja absorptio määritellään satunnaislukuina. Kohdepisteen valaistusvoimakkuus saadaan useiden laskukierrosten tuloksena pisteeseen tulevien valopartikkeleiden summana. /3,21,48/

Numeeriset menetelmät ottavat säteilyn häviöistä huomioon vain pintojen heijastumisesta ja ikkunan läpäisystä aiheutuneet häviöt. Muut absorptio- ja sirontahäviöt jäävät huomioimatta. Menetelmät eivät myöskään huomioi säteilyn spektrijakaumia ja niiden muutoksia heijastuksissa tai ikkunamateriaalin läpäisyssä. /49/

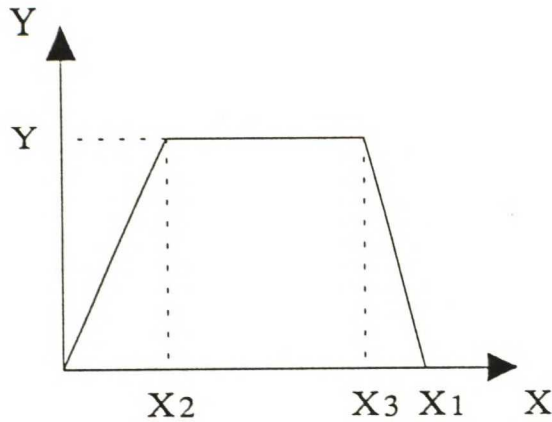
#### 2.3.6.2 Superlite 1.0.1

Luvussa 4 käsitellään esimerkkirakennuksen valokatteisia tiloja Lawrence Berkeley Laboratorion Windows and Daylighting Groupin tekemällä Superlite 1.0.1 ohjelmalla. Superlite PC 1.0.1 on PC- koneille tarkoitettu versio alunperin keskustietokoneelle tarkoitettusta ohjelmasta Superlite 1.0.

Ohjelmassa on mahdollista valita suppeat tai laajat lähtötiedot. Suppea laskenta on tarkoitettu yksinkertaisten tilojen nopeaan laskentaan. Laajoilla lähtötiedoilla voidaan käsitellä monimutkaisiakin päivänvalolla valaistuja tiloja, joihin liittyy ulkopuolisia ja sisäpuolisia esteitä.

Laajoissa lähtötiedoissa kukin tilan pinta kuvataan erikseen. Pinnat kuvataan ohjelmalle kuvan 2.29 mukaisesti neljällä koordinaatilla. Kuvaamistavan vuoksi pinnan neljästä sivusta kahden on oltava samansuuntaisia. Suorakulmaisen kolmion kuvaaminen on ainakin periaatteessa mahdollinen tällaisilla lähtötiedoilla. Kaarevat pinnat täytyy aproksimoida suorilla pinnoilla. Lähtötiedot voivat sisältää 30 tasoa. Ikkunoita saa olla korkeintaan viisi ja jokainen ikkuna lasketaan kahdeksi tasoksi. Ikkuna voi olla kirkas tai läpikuultava. Aurinkosuojina ohjelma käsittelee auringonsuojalippoja ja verhoja.





Kuva 2.29 Tason kuvaaminen Superlite 1.0.1 ohjelmaan. /49/

Auringon ja taivaan ulos tuottaman valaistusvoimakkuuden määrittämiseksi lähtötiedoissa voidaan ilmoittaa joko päivänvalon suora ja hajasäteily sekä säteilyjen valotehokkuudet; maantieteellinen sijainti, ilmakehän kosteus ja turbiditeetti tai auringon paikka, ilmakehän kosteus ja turbiditeetti. Sääolosuhteen voi valita neljästä vaihtoehdosta:

- CIE:n standardoima tasaisesti pilvinen taivas
- kirkkaan taivaan ja suoran auringonvalon vaikutus
- pilvinen tasaisen luminanssin taivas
- CIE:n määrittelemä kirkas taivas ilman auringon vaikutusta

Osittain pilvistä taivasta ei voida käsitellä.

Ohjelma laskee lähtötiedoissa määritellyille työtasoille valaistusvoimakkuus- ja päivänvalosuhdejakaumat taulukoidussa muodossa. Valaistusvoimakkuuksista ilmoitetaan ikkunoiden ulkopuolisen valaistusvoimakkuuden ja sisäpuolisten heijastusten tuottamat valaistusvoimakkuuden komponentit sekä kokonaisvalaistusvoimakkuus. Valaistusvoimakkuudet ilmoitetaan footcandeloina. Laskentamenetelminä ohjelma käyttää

- Monte Carlo menetelmää päivänvalon ulkopuoliselle pinnalle tuottaman suoran valaistusvoimakkuuden määrittämiseksi
- matriisin invertoiminen ulkopuolisten pintojen välisten heijastumisien määrittämiseksi
- numeerista integrointia huonepintojen ja työtasojen suoran valaistusvoimakkuuden komponentin ja huonepinnoista työtasolle heijastuneen komponentin määrittämiseksi

Ohjelmaa käyttäessä jää kaipaamaan syöttötietojen antamista helpottavaa kyselevää

ohjelmanpätäkää. Nyt syöttötiedot annetaan tiedostona, joka koostuu numerosarjoista. Lähtötietojen tarkastaminen on hankalaa ja virheen mahdollisuus on merkittävä. Monimutkaisien tilojen laskenta-ajat venyvät helposti varsin pitkiksi. Ohjelmasta on kehitteillä versioita, jotka pystyvät käsittelemään monimutkaisempia aurinkosuojia, peilimäisiä pintoja sekä päivänvalon lisäksi keinovaloa.

/49/

### 2.3.6.3 Pienoismallit

Pienoismalli on yksinkertainen tapa demonstroida päivänvalon käyttäytymistä tarkasteltavassa tilassa. Mikäli kaikki huonepinnat, huonekalut, materiaalit ja värit saadaan täysin vastaamaan toisiaan, on päivänvalon käyttäytyminen tarkasteltavassa tilassa ja sitä kuvaavassa pienoismallissa täsmälleen samanlaista. Pienoimallin avulla voidaan tarkastella päivänvalon määrää ja laatua. Varsinkin laatutekijöiden arvosteleminen on muilla menetelmillä yleensä mahdotonta. Harvat laskentaohjelmat käsittelevät häikäisyä tai kontrasteja. Päivänvalon jakautumisen esitetään taulukoidussa muodossa tai isoluksikäyrinä. Pienoismalli havainnollistaa selkeästi, millaiselta tila todellisuudessa näyttää. Pienoismallin avulla voidaan myös tarkastella, miten eri materiaalit, värit ja huonekalut vaikuttavat tilan ulkonäköön. Valoa läpäisevää materiaalia valittaessa voidaan pienoimallin valoaukkoihin kiinnittää erilaisia materiaaleja ja tarkastella niiden vaikutusta.

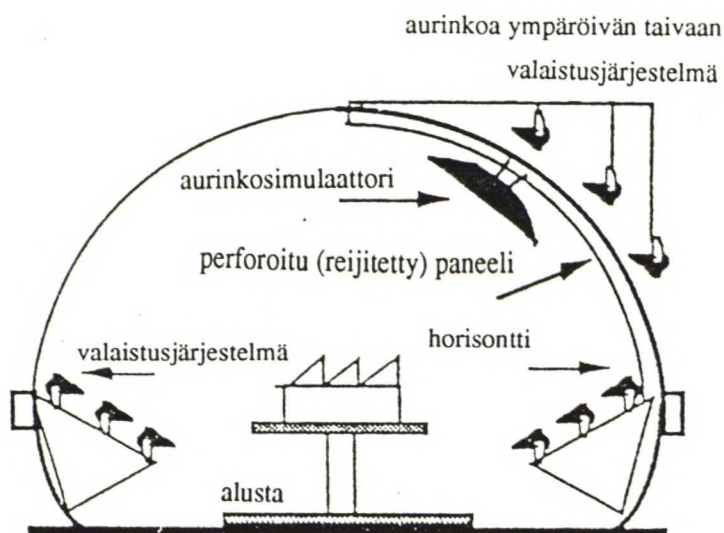
Pienoismallin tekemiseen kuluva aika riippuu halutusta tuloksen tarkkuudesta. Suunnittelun siinä vaiheessa, jossa päivänvaloa tarkastellaan päivänvalon ja keinovalon yhdistämistä silmällä pitäen, tarvitaan todellista tilannetta mahdollisimman tarkasti simuloiva malli. Tällaisen mallin tekeminen vie aikaa ja vaivaa. Pienoismallitarkasteluissa on muistettava ottaa huomioon ympäristön vaikutus ja tarvittaessa tehdä malli myös ympäristöstä.

Päivänvalon käyttäytymistä pienoismallissa voidaan tarkastella katselemalla, kuvaamalla mallia kameralla tai videokameralla tai mittamalla yhdellä tai useammalla valokennolla. Videokameraa voidaan liikuttaa pienosmallissa, tarkastella tilaa eri suunnista ja paikoista ja "liikkua" paikasta toiseen.

Pienoismallia voidaan tarkastella ulkona vapaan taivaan alla tai sisällä päivänvaloa matkivissa päivänvalosimulaattoreissa. Halvin tapa on viedä pienoismalli ulos. Koska päivänvaloa on tarkasteltava sekä kirkkaan, että pilvisen taivaan olosuhteissa, ollaan ulkona tapahtuvassa tarkastelussa sään ja sen mukaan muuttuvien valaistusolosuhteiden armoilla. Pilvisen taivaan tuottamat olosuhteet ovat valon jakautumisen suhteen samanlaisia riippumatta vuorokauden- tai vuodenajasta. Kirkkaan taivaan tuottamat olosuhteet sensijaan riippuvat auringon asemasta ja niiden mittaaminen on hankalampaa. Päivänvalosimulaattorit tarjoavat



mahdollisuuden kontrolloida mittausolosuhteita. Toisaalta päivänvaloa kuvaavan keinovalaistusjärjestelmän luominen on vaikea tehtävä, simulaattorit ovat kalliita ja niitä on olemassa erittäin vähän. Kuvassa 2.30 on esimerkki päivänvalosimulaattorista. Kyseinen päivänvalosimulaattori on sikäli poikkeuksellinen, että sillä voidaan simuloida niin pilvistä ja kirkasta taivasta kuin suoraa auringonvaloaakin. Poikkeuksellista on myös, että taivaan- ja auringonvaloa voidaan tarkastella yhtäaikaaisesti.



Kuva 2.30 Päivänvalosimulaattori. /50/

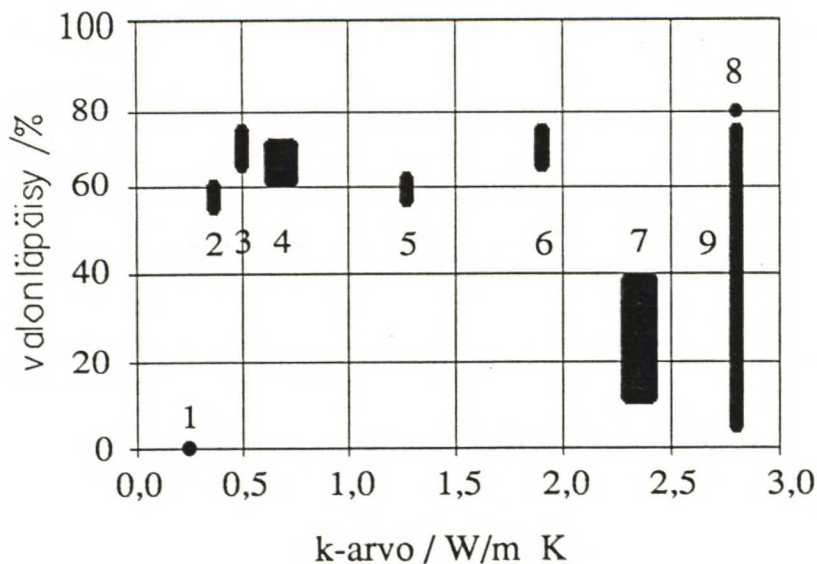
Keinovalon liittäminen pienoismalliin on osoittautunut vaikeaksi. Jonkin verran on käytetty optisia kuituja, mutta niidenkin avulla on vaikea luoda todellista keinovalaistusta vastaavia olosuhteita. Lisäksi lukuisten valaisimien kuvaamiseksi tarvittavaa "kuituviidakkoa" on vaikea sijoittaa ja hallita.

/3,21,50/

## 2.4 KEHITYSTARPEET JA MAHDOLLISUUDET

Päivänvalo tulisi ottaa huomioon jo arkkitehtisuunnittelussa varsinkin, jos päivänvalo halutaan hyödyntää yhtenä valaistuselementtinä. Rakennuksen suunnitteluvaiheessa voidaan kokeilla erilaisia ratkaisuja, tutkia niiden toimivuutta ja valita ratkaisut, joista saavutetaan optimaalinen hyöty. Valokatteesta on tullut jonkinlainen muotiasia, jonka pelkkä olemassaolo tuntuu riittävän. Suunnitteluvaiheessa tehtyjä virheitä, esimerkiksi häikäisyn ja liikalämpenemisen huomioimatta jättämistä, on myöhemmin vaikea korjata vaikuttamatta järjestelmän toimivuuteen.

Valokatteen materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa auringon lämpö- ja häikäisy-suojaukseen. Nykyisillä materiaaleilla suojautuminen merkitsee kompromissia suojan vaikutuksen ja valonläpäisyn välillä. Jatkuvasti on kehitteillä valoa läpäiseviä materiaaleja, jotka olisivat lämmöneristävyydeltään ja valonläpäisyltään edeltäjiänsä parempia. Kuvassa 2.31 on verrattu joidenkin materiaalien optisia ja termisiä ominaisuuksia toisiinsa. Kuvasta näkyy materiaalien kehitys; seinän lämmönläpäisyä lähimpänä olevat materiaalit ovat vielä kehitysasteella, eikä niitä ole otettu laajasti käyttöön. Kehitys näyttää kuitenkin lupaavalta ja parempien materiaalien tuleminen markkinoille on odotettavissa. Aluksi materiaalit ovat tietenkin kalliita, mutta valmistusmenetelmien kehittyessä ja markkinoiden laajentuessa hinnat laskevat.



Kuva 2.31 Valonläpäisy ja k-arvo erilaisille ikkunarakenteille.

- 1: Suomen rakentamismääräyskokoelman lämmöneristysmääräyksen mukainen, ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vastaan oleva seinä
- 2: 20 mm aerogeeli ja selektiivinen lasi
- 3: Vakuumi-ikkuna
- 4: Moninkertainen lasi/kalvo, selektiivinen pinnoite ja kryptonkaasutäyte
- 5: Kaksinkertainen lasi, välissä yksi selektiivisellä pinnoitteella päällystetty muovikalvo
- 6: Kaksinkertainen kirkas lasi ja selektiivinen pinnoite
- 7: Kaksinkertainen heijastava lasi
- 8: Kaksinkertainen lasi
- 9: Kaksinkertainen lasi, jossa elektrokoromaattinen pinnoite

/30,51/



Päivänvalotarkasteluja kaikkein eniten Suomessa haittaa valaistusvoimakkuusmittausten puuttuminen. Päivänvalosuhteen ja muiden laskentamenetelmien avulla voidaan kyllä laskea päivänvalon jakautuminen tarkasteltavissa tiloissa, mutta valaistusvoimakkuuden istuttaminen todellisiin saatavissa oleviin arvoihin on arviointien ja arvauksien varassa. Välittömästi olisi aloitettava maankattavat pitkäjänteiset mittaukset, joissa mitattaisiin ainakin taivaan ja auringonvalon tuottamat horisontaali- ja eri ilmansuuntien vertikaalivalaistusvoimakkuudet. Samanaikaisesti valaistusvoimakkuusmittauksien kanssa tulisi olla käytettävissä tiedot sääolosuhteista, jossa mittaukset on tehty.

## 2.5 YHTEENVETO

Päivänvalo on laadullisesti paras mahdollinen valonlähde. Päivänvalon määrään sisällä vaikuttavat

- rakennuksen suuntaus
- ulkopuoliset varjostavat ja heijastavat esteet
- ≡ käytettävä päivänvalojärjestelmä: seinä-, kattoikkuna, valokate, mahdolliset päivänvalon siirtojärjestelmät
- valoaukon muoto, koko, sijainti ja lukumäärä
- ikkunapuitteet ja karmit
- ikkunamateriaalit
- aurinkosuojat
- huonepintojen ja kalusteiden värit
- huolto

Päivänvalon jatkuvat vuorokauden aikojen ja säänmuutosten mukaiset vaihtelut ja valoaukkojen tarjoama näköyhteys rakennuksen ulkopuolelle elävöittävät ympäristöä ja virkistävät ihmisiä. Suora auringonvalo ja kirkkas taivas aiheuttavat helposti häikäisyä. Häikäisyä aiheuttavat auringon ja taivaan näkyminen ikkunasta, valon aiheuttamat kirkkaat luminanssit ja suuret luminanssierot huoneessa. Häikäisysojauksen tarve on ajoittaista, minkä vuoksi suojaus kannattaa tehdä säädettäväksi, tarpeen mukaan käytettäväksi. Aurinkosuojista säädettäviä ovat markiisit, sälekaihtimet ja verhot. Ikkunamateriaaleista häikäisyn kannalta mielenkiintoisimpia ovat valonläpäisyä säättävät materiaalit. Näistä lupaavimpia ovat sähköllä säädettävät nestekidelasit, joita on jo kaupallisestikin saatavilla. Auringon aiheuttamaa häikäisyä ei koeta kovin häiritseväenä. Päivänvalon aiheuttama häikäisy hyväksytään huomattavasti helpommin kuin keinovalon aiheuttama häikäisyä.

Häikäisyä suurempana ongelmana koetaan päivänvalon lämpövaikutukset:

auringonsäteilyn aiheuttama liikalämpeneminen ja ikkunoiden huonon lämmöneristävyyden aiheuttama veto ikkunoiden läheisyydessä. Lämpösuojaukseen sopivat parhaiten ulkopuoliset ja ikkunalasien väliin sijoitettavat aurinkosuojat ja lämmöneristävyydeltään hyvät ikkunamateriaalit. Ulkopuoliset aurinkosuojat ovat Suomen oloissa hankalia lumen ja jään kertymisen vuoksi. Ikkunamateriaaleista ikkunan lämmönjohtavuuteen vaikuttavat heijastavat ja absorboivat lämpölasit, selektiiviset pinnoitteet ja ikkunakerrosten väliset kaasutäytteet. Valoa läpäisevien eristeiden kehitystyön tuloksena pyritään saamaan ikkunaratkaisuja, jotka hyvän lämmöneristävyyden lisäksi läpäisisivät hyvin valoa.

Valokatteet voivat olla lasista tai muovista. Yleensä kate tehdään lasista, koska muovit ovat olleet lyhytikäisiä ja palo-ominaisuuksiltaan katteeseen sopimattomia. Nykyiset muovit ovat kuitenkin edeltäjiänsä parempia ja muovien käyttöä voitaisiinkin tuntuvasti lisätä. Muovit tarjoavat uusia arkkitehtoonisia mahdollisuuksia helpon muotoiltavuutensa ja suurten levykokojensa ansiosta. Muovien käyttöä rajoittavat lähinnä ihmisten asenteet, joilla on taipumus muuttua hitaasti.

Päivänvalon siirtojärjestelmillä pyritään siirtämään päivänvaloa sellaisiin rakennuksen osiin, joihin sitä muuten saadaan vähän tai ei lainkaan. Siirtomenetelmillä voidaan pyrkiä päivänvalon jakautumisen parantamiseen tai luonnonvalon hyväksikäyttöön edullisena, hyvälaatuisena ja tehokkaana valonlähteenä. Päivänvalon siirtojärjestelmiä ovat valohyllyt, linssi- ja prismajärjestelmät sekä valoputket. Valoputkena optinen kuitu on joustavin ratkaisu.

Päivänvalon jakautumista sisällä voidaan tarkastella erilaisten päivänvalolaskelmien ja pienoismallin avulla. Päivänvalon laskentamenetelmiä on tarjolla runsaasti. Yksikään laskentamenetelmä ei kuitenkaan pysty jäljittelemään todellista valon käyttäytymistä yhtä tarkasti kuin pienoismalli, joka voidaan tehdä identtiseksi käsiteltävään rakennukseen verrattuna. Pienoismallien avulla voidaan tutkia valaistuksen riittävyttä ja laatutekijöitä. Laskentamenetelmät tarjoavat varsinkin tietokoneen avustuksella nopean arviointimenetelmän, jolla voidaan analysoida päivänvalon tuottamaa valaistusta määrällisesti.



### 3. KEINOVALO VALOKATTEISESSA TILASSA

Päivänvaloon valonlähteenä voidaan suhtautua periaatteessa kolmella eri tavalla: se voidaan jättää kokonaan huomioimatta, se voidaan ajatella toissijaisena valonlähteenä, joka toisinaan pystyy kokonaan korvaamaan keinovalon tai se voidaan ajatella ensisijaisena valonlähteenä, jota keinovalo tarvittaessa täydentää. Suhtaudutaan päivänvaloon sitten millä asenteella tahansa on valoa tilassa oltava riittävästi myös aikoina, jolloin päivänvaloa ei ole saatavissa.

#### 3.1 VALAISTUSVAATIMUKSET

##### 3.1.1 Valaistusvoimakkuustaso

Valokatteisia tiloja ei ole erikseen otettu huomioon valaistussuosituksissa niin Suomessa kuin muuallakaan maailmassa. Valaistussuunnittelun lähtökohdaksi on otettava tilan toiminnan pohjalta annetut valaistussuositukset.

Yleensä toiminta valokatteisessa tilassa on sen luonteista, että yleisvalaistuksen valaistustasoksi voidaan valita 200 lx. Varsinkin Keski-Euroopassa on esiintynyt mielipiteitä, joiden mukaan tätäkin alhaisemmat valaistusvoimakkuustasot riittäisivät. Lisävalaistus hoidetaan tarpeen tullen paikallisvalaistuksella.

##### 3.1.2 Valon väriominaisuudet

Keinovalolta vaadittavat väriominaisuudet riippuvat päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytöstä; jos keinovaloa ja päivänvaloa käytetään suuren osan aikaa (yli 50 % rakennuksen käyttöajasta) yhtäaikaaisesti, tulee keinovalon olla värilämpötilaltaan lähellä päivänvalon värilämpötilaa. Jos taas päivänvaloa ja keinovaloa käytetään pääosin eri aikoina, voi valonlähteen värilämpötilan valita vapaammin. Mikäli tilan valaistustaso on matala, saadaan päivänvalon sävyisessä keinovalosta kylmä vaikutelma (taulukko 3.1). Tällöin aikoina, jolloin käytetään yksinomaan keinovaloa voi olla hyvä, jos valonlähteistä osa on lämminsävyisiä. Valonlähteiden kylmää valoa voidaan jonkin verran kompensoida käyttämällä sisustuksessa lämpimiä värejä.

Keinovalon värintoistoluokan tulee olla vähintään 1B. Huonomman värintoiston valonlähteitä voidaan käyttää, mikäli ne muodostavat vain pienen osan koko valaistuksesta.

Taulukko 3.1 Valaistusvaikutelman riippuvuus valaistusvoimakkuudesta ja valon värilajista (ekvivalenttisesta värilämpötilasta) /7/

Valaistus- voimakkuus lx	Valosta saatava värivaikutelma (värilämpötila)		
	Lämmin (< 3 300 K)	Neutraali (3 300...5 300 K)	Kylmä (> 5 300 K)
	Valaistusvaikutelma		
< 500	Miellyttävä	Neutraali	Kylmä
500...1 000	:	:	:
1 000...2 000	Piristävä	Miellyttävä	Neutraali
2 000...3 000	:	:	:
> 3 000	Luonnoton	Piristävä	Miellyttävä

3.1.3 Valaistuksen tasaisuus

Valokatteisissa tiloissa valotasot eri tilan osien kesken voivat vaihdella kohtalaisen suuresti ilman, että siitä on haittaa. Tasoeroja jopa tavoitellaan, koska ne elävöittävät näköympäristöä ja kiinnittävät huomion haluttuihin kohteisiin. Tasoerot eivät saa olla kuitenkaan niin suuria, että niistä aiheutuisi häikäisyä tai pimeyden tunnetta tilassa liikuttaessa. Työtiloissa ja liikkumistiloissa valaistuksen tasaisuuden tulee täyttää sille valaistussuosituksissa annetut vaatimukset.

3.1.4 Häikäisy

Valokatteisissa tiloissa valaisimet sijoitetaan usein korkealle ja ajatellaan, että ne olisivat siten katsekentän ulkopuolella eivätkä aiheuttaisi häikäisyä. Toisaalta valokatteisissa tiloissa oleskellessa ja varsinkin sinne tultaessa katse kiertää tutkien katteessa ja muualla tilassa. Suoraan silmiin paistavat valonlähteet häiritsevät tällöin tilan katselemista. Toisaalta valokatteisiin tiloihin voi liittyä työtiloja, joiden häikäisy-suojauksesta on erityisesti huolehdittava. Yleissääntönä voidaan pitää valaistuksen IES-häikäisyindeksinä 19...22.

3.1.5 Varjonmuodostus

Varjonmuodostuksella on merkitystä erityisesti tilan viihtyisyyden luomiseen, koska varjot ovat edellytys kolmiulotteiselle näkemiselle. Vaatimusten lähtökohtana ovat varjonmuodostuksenkin suhteen toiminnan edellyttämät valaistussuositukset. Varsinkin oleskelutiloissa, liikkumatiloiissa kuten portaissa sekä komiulotteista taidetta sisältävissä tiloissa varjonmuodostus on tärkeä. arjonmuodostukseen vaikuttaa valon tulosuunta. Mikäli valoa tulee kaikista suunnista yhtä paljon, ei varjoja synny lainkaan.



### 3.1.6 Keinovalon säätö

Keinovalon säätö tulee toteuttaa siten, ettei säätäminen aiheuta häiriötä tilassa oleskeleville. Häiritsevä keinovalon säätäminen koetaan helpoimmin työtilassa, jossa oleskeleminen on pitkäaikaista. Häiritsevää voivat olla valaistustason suuret ja yht'äkkiset muutokset, valonlähteiden kirkkauden muuttuminen, alituiset muutokset puolipilvisellä säällä sekä automaattinen, ohittamattomissa oleva säätö. Vapaa-ajan tiloissa suurelleen muutokset valaistustasoissa eivät välttämättä aiheuta häiriötä. Säätojärjestelmän kustannuskäyttö eivät saa ylittää järjestelmän avulla saavutettavia kustannussäästöjä.

### 3.1.7 Valonlähteet

Valonlähteiden valon tulee täyttää sille asetettavat värivaatimukset, jotka on esitetty kappaleessa 3.1.1. Jos valaisimen etäisyys valaistavasta kohteesta on suuri, tulee valonlähteen olla suuritehoinen. Suuritehoisen valonlähteen avulla saadaan pitkistä etäisyydestä huolimatta valoa valaistavaan kohteeseen asti. Toisaalta valonlähteiden valotehokkuudet paranevat lampun tehokkuuden lisääntyessä ja selvittää kohtuullisilla valaistustehoilla. Jos valaisimet sijaitsevat lähellä valaistavaa kohdetta voivat valonlähteiden yksikkötehot olla pienempiä. Valonlähteiden polttoain tulee olla mahdollisimman pitkä, jotteivät valaistusolosuhteet rikkonaisten lampujen vuoksi tarpeettomasti kärsisi. Päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytössä valonlähteen soveltuvuus säätökäyttöön. Tärkeitä ominaisuuksia säätökäytössä ovat himmennettävyyden sekä syytymis- ja jälleensyytymisominaisuudet.

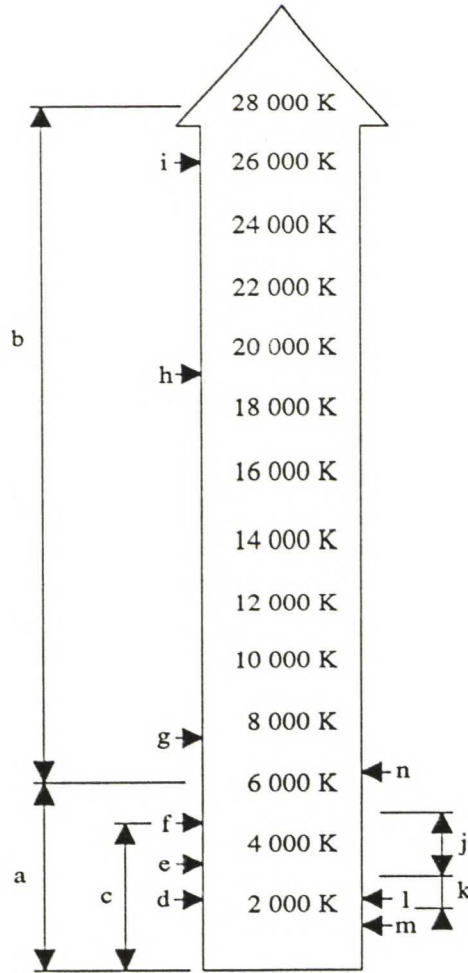
### 3.1.8 Tilan sisustuksen värit

Suuret luminanssierot eri huonepintojen välillä rasittavat silmiä, jos niitä joutuu katselemaan pitkäaikaisesti. Luminanssieroihin voidaan vaikuttaa paitsi valaistuksen tasaisuuden myös huonepintojen värityksen avulla. Huonepintojen ja muun sisustuksen värit vaikuttaa myös heijastuneen valon väriin.

## 3.2 VALONLÄHDE

Kuvassa 3.1 on samassa diagrammissa sekä päivänvalon, että yleisimpien keinovalonlähteiden värilämpötiloja. Päivänvalon värilämpötila vaihtelee vuorokauden ajasta, ilmansuunnasta ja sääolosuhteista riippuen suurella alueella. Keinovalonlähteistä lähes kaikki ovat neutraaleja tai lämminsävyisiä. Lämpimien värisävyjen osuus päivänvalosta on suhteellisen pieni. Päivänvalolampuiksi kutsuttujen keinovalonlähteiden värilämpötilat ovat samaa luokkaa kuin pilvisen

taivaan värilämpötilat. Kirkasta taivaansäteilyä vastaavia valonlähteitä ei ole.



Kuva 3.1 Valonlähteiden värilämpötiloja: (a) tyypillinen auringonvalon värilämpötila-alue, (b) tyypillinen taivaansäteilyn värilämpötila-alue, (c) auringonvalo kahden tunnin ajan auringonnousun jälkeen ja ennen auringonlaskua, (d) 15 minuuttia auringonnousun jälkeen, (e) tunti auringonnousun jälkeen, (f) kaksi tuntia auringonnousun jälkeen, (g) CIE:n tasaisesti pilvinen taivas, (h) tyypillinen pohjoinen taivas, (i) erittäin kirkas pohjoinen taivas korkealla, (j) yleisimmät loistelamput, (k) useimmat hehkulamput ja halogeenilamput, (l) suurpainenaatriumlamppu, (m) kynttilänvalo, (n) päivänvaloloiistelamppu. /3,52/

Taulukkoon 3.2 on kerätty valonlähteiden valinnassa vaikuttavat ominaisuudet.



Taulukko 3.2 Valonlähteiden valintaan vaikuttavia ominaisuuksia.  
/53,54,56,57,58,59,60/

Lamppu	Värisävyt	Värintoisto- luokat	Syttyminen ja jäl- leensy- tyminen (js)	Soveltuu jatku- vaan säätöön	Polttoikä h	Valotehok- kuus (η) lm/W	Teho W	Selityksiä tähdellä merkittyihin kohtiin
Hehkul.	lämmin	1A	välitön	kyllä*	1000	14..20	10..1000	η pienenee
Halogeenil.	lämmin	1A	välitön	kyllä*	2000 ..4000	16..20	10..2000	η pienenee
Loistel.	kaikki	1A,B, 2A,B,3	1...3 s välitön*	kyllä	7000	50..80	4..65	jos elektro- ninen liitän- tälaitte
Pienloistel.	kaikki	1A,B	1...3 s välitön*	kyllä**	8000	50..85	5..40	*ks.loistel. **lamput il- man sytytintä
Suurp.Na-l.	lämmin	4, 1B*,2B*	5..10 min js 1..2 min	ei	10000, 5000*	90..100 40..95*	50..1000	värikorjattu SpNa-lamppu
Elohopeal.	neutraali, lämmin	2B,3	3..4 min js+1..3min	ei	8000	30..60	50..1000	
Monim.l.	neutraali, päivänv.	1A,B, 2A,B	10..15 min 90..120 s*	ei	5000 ..6000	60..80	35..3500	lämminsy- tytys
Pienp.Na-l.	lämmin	4	10..20 min	ei		120..180	18..180	

Hehku- ja halogeenilamppujen käyttöä suurissa valokatteisissa tiloissa rajoittavat lyhyt polttoikä sekä huono valotehokkuus. Päivänvalon ja keinovalon samanaikaiseen käyttöön ne eivät sovi, koska ovat lämminsävyisiä lamppeja. Hehku- ja halogeenilamppuja voidaan käyttää kohde- ja koristevalaistukseen, jossa niiden värintoisto-ominaisuudetkin pääsevät ominaisuuksiinsa. Halogeenilamppuja on sen väriominaisuuksien ja varsinkin säädettävyyden vuoksi käytetty valokatteisten tilojen valaisemisessa sen muista huonoista ominaisuuksista huolimatta. Hehku- ja halogeenilampun eliniät pitenevät merkittävästi, kun niitä käytetään nimellistehoa pienemmällä teholla.

Loistelamput ja pienloistelamput täyttävät kaikki valokatteisen tilan valonlähdevaatimukset. Ainoana huonona puolena on valonlähteiden pieni yksikköteho, joka rajoittaa valonlähteen etäisyyden valaistavaan kohteeseen lyhyeksi. Pienloistelampuista pystytään säätämään ainoastaan sellaisia, joissa ei ole sisään rakennettua sytytintä. Sveitsissä on markkinoilla säätömenetelmä, jolla pystytään säätämään lähes kaikkia PL-lamppuja. Laitteita ei ole Suomessa hyväksytty. /55/ Lamppujen valotehokkuus ja elinikä säilyvät jatkuvassa säädössä pienimpiä valaistustasoja lukuunottamatta vakiona. Himmentämisen edellyttämät elektroniset liitännälaitteet nostavat jonkin verran valaisimien hintaa. /54/

Purkauslamput soveltuvat hyvän valotehokkuuden ja suurien lampputehojen suhteen

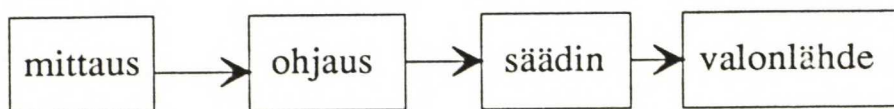
hyvin etäältä tapahtuvaan valaistukseen. Purkauslamppuista sisätiloissa voidaan käyttää värikorjattua suurpainenatriumlamppua, monimetallilamppua sekä osana valaistusta elohopealamppua. Purkauslamppujen huonona puolena päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytön kannalta on himmentymättömyys ja pitkät syttymis- ja jälleensyttymisajat. Huonoista syttymisominaisuuksista huolimatta purkauslamppuja voidaan käyttää potaitaiseen säätöön, jos estetään lamppujen yhtämittainen syttyminen ja sammuminen päivänvalon nopeasti vaihdellessa. Värikorjattu suurpainenatriumlamppu sopii lämpimän värisävynsä vuoksi ainoastaan sellaisiin valokatteisiin tiloihin, joissa keinovaloa ja päivänvaloa käytetään eri aikoina.

### 3.3 PÄIVÄNVALON JA KEINOVALON YHDISTÄMINEN

Päivänvalon ja keinovalon yhdistäminen on tärkein osa päivänvalon hyötykäytön suunnittelusta, jos pyritään valaistusenergian säästöön. Ottamalla huomioon päivänvalo ja keinovalo, päivänvalon hyväksikäytettävyys ja keinovalon säätämismahdollisuudet voidaan suunnitella valaistusjärjestelmä, joka kuluttaa vähemmän energiaa ja vähentää ilmastoinnin tarvetta. /3,4,5,61/

Lähtötietoina päivänvalon ja keinovalon yhdistämiselle tarvitaan tiedot päivänvalon saatavuudesta ja jakautumisesta rakennuksessa. /3/ Päivänvalon saatavuuteen perustuvat saavutettavissa olevat säästöt. Päivänvalon saatavuus ja sen jakautuminen valaistavaan tilaan määräävät yhdessä käytettävän ohjausstrategian, johon sisältyy tilan jakaminen säätöalueisiin ja alueiden keinovalaistuksen säätömenetelmien valinta.

Päivänvalon mukaan keinovaloa ohjaavan valaistuksen säätölaitteistoon kuuluu neljä kuvan 3.2 mukaista osaa: valonlähde, valonlähteen tehonsyöttöä ohjaava säädin, säädintä ohjaava ohjauslaite ja valoa mittaava valoanturi. Säätökäyttöön soveltuvat valonlähteet on käsitelty jo aiemmin kappaleessa 3.2, joten niitä ei enää tässä kappaleessa käsitellä.



Kuva 3.2 Päivänvalon mukaan säädetyn keinovalon säätölaitteiston osat.

#### 3.3.1 Päivänvalon saatavuus ja tilan jakaminen säätöalueisiin

Käytettävissä olevan päivänvalon tunteminen on välttämätöntä, jotta pystyttäisiin arvioimaan, millainen säästöpotentiaali päivänvalolla täydennetyllä valaistusjärjestelmällä on ja millainen säätöstrategia sopii parhaiten kyseiseen tilaan. Saatavilla ole-



van päivänvalon jakautumista rakennuksessa voidaan tarkastella päivänvalolaskelmien tai pienoismallien avulla. Tilannetta on tarkasteltava kaikkina vuodenaikoina ja muutamana vuorokaudenaikana siten, että päivänvalon käytyttyminen tilassa tulee selväksi. Jakautumia on lisäksi käsiteltävä erikseen pilvisen ja kirkkaan taivaan olosuhteille. /3/

Paikkakunnan vallitsevat sääolosuhteet määräävät sen, millainen painoarvo eri olosuhteille tulee antaa. Vallitseva sääolosuhde (pilvinen/kirkas taivas) voidaan määrittää paikkakunnan auringonpaistetuntien perusteella. Ilmatieteen laitos on suorittanut auringonpaistemittauksia Suomessa kolmellakymmenellä paikkakunnalla. /17/ Mittauksista on tilastoitu auringonpaistetuntien vuorokausi- ja kuukausisummat. Aurinkoisen ilman osuutta voidaan arvioida vertaamalla auringonpaistetunteja jonakin ajanjaksona kyseisen ajanjakson valoisien tuntien summaan. Japanissa on kerätty auringonpaistetietoja ympäri maapallon. /62/ Auringonpaistetunnit on ilmoitettu suhteellisenä osuutena kaikista valoisista tunteista. Helsingille ilmoitetaan taulukon 3.3 mukaiset kuukausittaiset suhteelliset auringonpaistetunnit.

Taulukko 3.3 Suhteelliset auringonpaistetunnit eri kuukausina Helsingissä [%]. /62/

	lev°	pit°	kork	tam	hel	maa	huh	tou	kes	hei	elo	syy	lok	mar	jou	vuosi
Helsinki	60°12'N	24°55'E	50 m	16	24	37	72	51	52	53	52	39	24	13	10	40

Päivänvalon jakautumiseen perustuen voidaan tila jakaa säätöalueisiin, joiden sisällä päivänvalon ja keinovalon yhdistämismenetelmä on yhtenäinen. Säätöalueet on jaettava siten, että valaistus tuottaa tilaan riittävän tasaisen luminanssijakautuman. Jakamiseen vaikuttavat myös valoaukkojen työtilojen sijainti ja tilassa suoritettavat näkötehtävät. Mitä useampiin alueisiin tila jaetaan, sitä parempaan valon hallintaan ja valaistustulokseen sekä suurempiin valaistusenergian säästöihin päästään. Alueiden lisääminen kasvattaa yleensä investointikustannuksia. /3/

Kultakin säätöalueelta valitaan yksi mittauspiste, jonka mukaan alueen keinovalaistusta ohjataan. Päivänvalon ja keinovalon yhdistämistarkasteluja varten määritellään seuraavat mittauspisteen valaistusvoimakkuudet (Kuva 3.3):

- $E_{pv}$

Päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus sisällä [lx]
- $E_{kv}$

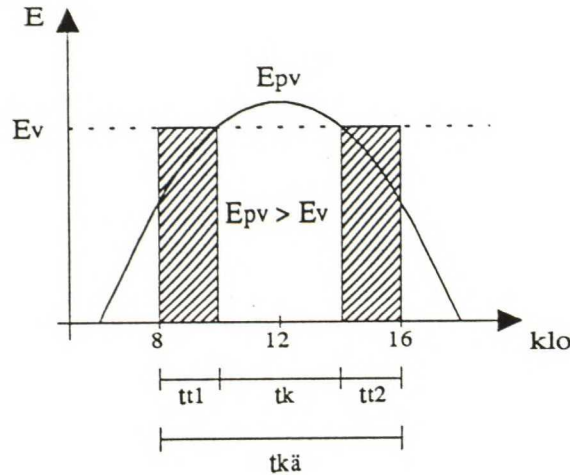
Keinovalon tuottama valaistusvoimakkuus sisällä [lx].
- $E_{kok}$

Kokonaisvalaistusvoimakkuus sisällä [lx]
- $E_{kok} = E_{pv} + E_{kv}$

(5)

- $E_v$  Valaistussuosituksista tai muuten alueelle määritelty kokonaisvalaistusvoimakkuusvaatimus [lx]
- $E_m$  Se päivänvalon alueelle aiheuttama valaistusvoimakkuuden arvo, jota pienemmillä valaistusvoimakkuuksilla koko keinovalaistus on käytössä [lx]:

$$E_{pv} < E_m \Rightarrow E_{kv} = E_v$$



Kuva 3.3 Päivänvalon ja keinovalon yhdistäminen.  $E_v$  on alueelle vaadittava valaistusvoimakkuus,  $E_{pv}$  on päivänvalon alueelle tuottama valaistusvoimakkuus,  $t_{kä}$  on rakennuksen käyttöaika vuorokaudessa,  $t_k$  on se osa käyttöajasta, jolloin päivänvalo voi täysin korvata keinovalon,  $t_t$  on se osa käyttöajasta, jolloin päivänvalo voi osaksi korvata keinovaloa.

Lisäksi määritellään:

$pvk_k$  Päivänvalon käytettävyys siten, että päivänvalo korvaa keinovalon kokonaan

$$pvk_k = t_k / t_{kä} \quad (6)$$

$t_k$  Aika, jolloin  $E_{kv} = 0$  [h]

$t_{kä}$  Rakennuksen käyttöaika vuorokaudessa [h]

$pvk_t$  Päivänvalon käytettävyys keinovaloa täydentävänä

$$pvk_t = t_t / t_{kä} \quad (7)$$

$t_t$  Aika, jolloin  $0 < E_{kv} < E_v$  [h]

PVK Päivänvalon käytettävyyskerroin eli se osuus rakennuksen käyttöajasta,



jolloin päivänvaloa voidaan käyttää hyväksi

$$PVK = pvk_k + pvk_t \quad (8)$$

Päivänvalon käytettävyysskerroin on laskettava sekä kirkkaille että pilvisille sääolosuhteille ( $PVK_{ki}$  ja  $PVK_{pi}$ ). Näistä voidaan laskea sääolosuhteiden mukaan painotettu päivänvalokerroin

$$PVK_{pain} = PVK_{ki} p + PVK_{pi} (1 - p) \quad (9)$$

missä  $p$  auringonpaistetuntien suhteellinen osuus valoisista tunneista = auringonpaisteen todennäköisyys

EPV Kerroin, joka kuvaa sitä osaa käyttöajasta, jolloin päivänvaloa ei käytetä hyväksi

$$EPV = t_e / t_{kä} = 1 - PVK \quad (10)$$

$t_e$  Aika, jolloin  $E_{kv} = E_v$  [h]

### 3.3.2 Mittauspisteen valinta

Mittauspisteen sijainti on järjestelmän toimivuuden kannalta tärkein tekijä. Mittausanturin kiinnityspaikkoina ovat mahdollisia esimerkiksi seinät, katto, kate rakenteineen, pilarit, sillat, kaiteet, valaisimet.

Useiden valmistajien järjestelmät ohjaavat keinovaloa päivänvalon ja keinovalon yhdessä tuottaman valaistusvoimakkuuden perusteella. Oleellista sijoituspaikassa tällöin on, että anturin tunteman keinovalon ja luonnonvalon suhde on sama kuin niiden suhde paikassa, jonka valaistusvoimakkuutta halutaan valvoa. Suhteet voidaan haluttaessa varmistaa mittauksilla tai laskemalla tilan päivänvalosuhteet. /63,64,65/

Mittauspiste kannattaa valita jostakin suurimman ja pienimmän valaistusvoimakkuuden väliltä. Jos mittauspiste on valaistusvoimakkuuden maksimipisteessä, on todennäköisesti suuri osa alueesta suurimman osan ajasta valaistu liian vähällä valolla. Vastaavasti, jos mittauspiste on valaistusvoimakkuuden minimipisteessä, on suuri osa tilasta valaistu turhan voimakkaasti suuren osan ajasta. /3/

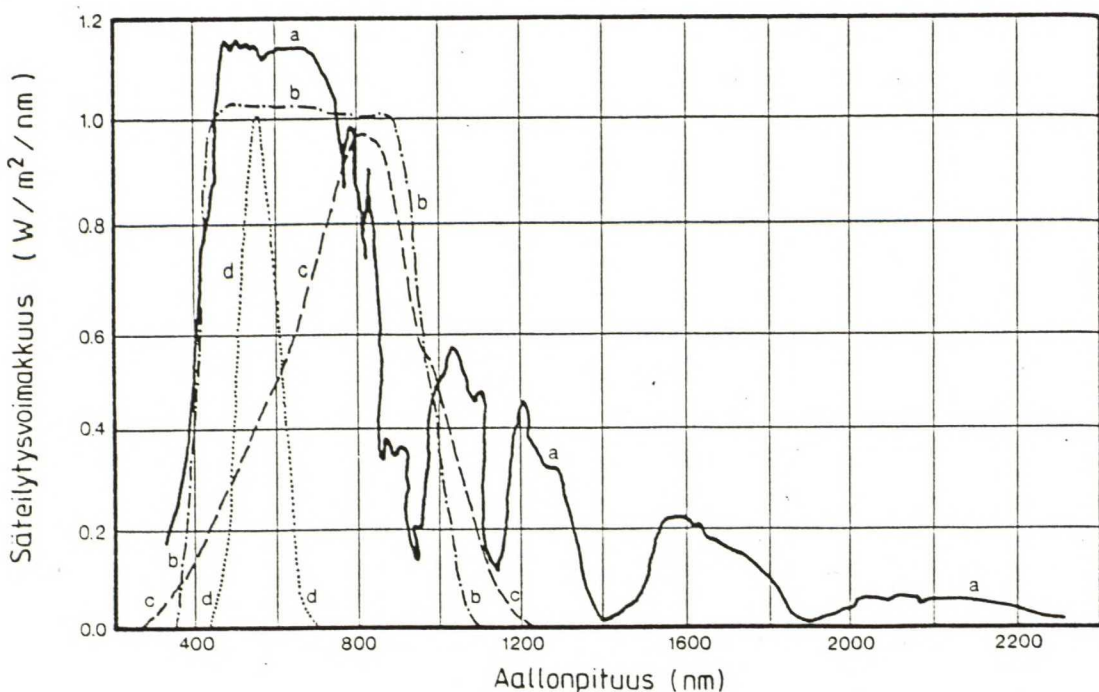
Anturi on aina sijoitettava niin, ettei aurinko pääse suoraan paistamaan anturiin. Suora auringonvalo voi olla tilassa paikallinen ilmiö, eikä anturin saama valaistus-

voimakkuusarvo siten edusta koko säätöalueen valaistusvoimakkuutta. Myös suoran auringonvalon heijastuminen anturiin kirkkaista pinnoista tulisi ottaa huomioon.

Jos tilassa on useita samanlaisia alueita, voidaan säätölaitteiston kustannuksia vähentää valitsemalla mittausta varten kaikkia alueita mahdollisimman hyvin edustava alue, jossa valaistusvoimakkuus mitataan. Tällaisen järjestelmän huonona puolena on joustamattomuus yksittäisen alueen olosuhteisiin. Esimerkiksi osittainen aurinkosuojien käyttö mittausalueella aiheuttaa valaistusvoimakkuuden nousun muillakin alueilla tai suojien käyttö muilla alueilla ei lainkaan johda valaistuksen säätämiseen.

Valaistusvoimakkuutta ulkona voidaan mitata paitsi ulkoa, myös sijoittamalla anturi valoaukon sisäpuolelle osoittamaan ulospäin. Jos mitataan valaistusvoimakkuutta ulkona, ei mittaus ota huomioon mahdollisten aurinkosuojien, kuten säleikaihtimien tai verhojen vaikutusta.

Näkyvän valon mittaukseen käytetään yleensä piistä valmistettuja valokennoja. Valaistusvoimakkuutta mitattaessa piikenno varustetaan suodattimilla niin, että se reagoi valon aallonpituuksiin silmänherkkyyskäyrän mukaisesti. (Kuva 3.4) /3,66/ Samanlaisella anturilla ei yleensä pystytä mittaamaan sekä valaistusvoimakkuutta ulkona, että sisällä, koska ulko- ja sisätilojen valaistusvoimakkuuksilla on varsin suuret erot. Ulkona valaistusvoimakkuus voi nousta useaan kymmeneen tuhanteen luksiin sisällä muutamaan tuhanteen luksiin.



Kuva 3.4 Piianturin reagointi eri aallonpituuksiin. (a) auringonvalon spektri, (b) piivaloanturi säteilysuotimella, (c) pelkkä piivaloanturi, (d) piivaloanturi ja silmänherkkyyskäyrän,  $V(\lambda)$ , mukainen suodin. /3/



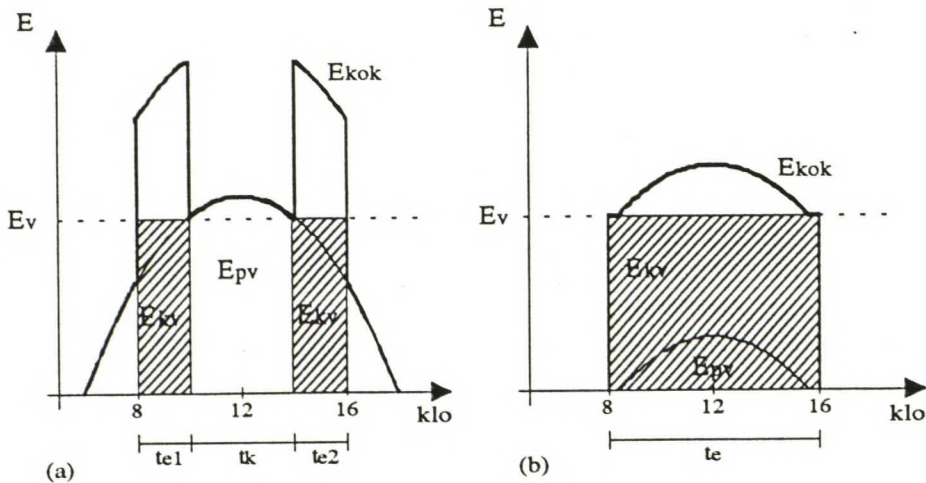
### 3.3.3 Sääötavat

Kun tila on jaettu sääöalueisiin, tulee valita kullekin alueelle sopiva valaistuksen sääötapa. Sääötapoja on kolme: päälle/pois, portaittainen ja jatkuva säätö. Sääö voi olla automaattista tai manuaalista.

#### 3.3.3.1 Päälle/pois säätö

Päälle/pois säädössä kytketään keinovalaistus kokonaisuudessaan päälle ( $E_{kv} = E_v$ ), kun päivänvalon aiheuttama valaistusvoimakkuus jää alueelle vaadittavaa valaistusvoimakkuutta pienemmäksi ( $E_{pv} < E_v = E_m$ ). Kun päivänvalon aiheuttama valaistusvoimakkuus nousee vaadittavan valaistusvoimakkuuden yli ( $E_{pv} > E_v = E_m$ ), kytketään keinovalaistus kokonaan pois päältä ( $E_{kv} = 0$ ).

Kuvassa 3.5 on kuvattu päälle/pois säätöä. Päälle/pois säädössä ei synny tilannetta, jossa päivänvalo osittain täydentäisi keinovaloa. Tällöin  $t_t = 0$ . Kuvasta havaitaan, että kokonaisvalaistusvoimakkuuden muutokset ovat suuria, kun valaistuksen päälle- tai poiskytkeminen tapahtuu.



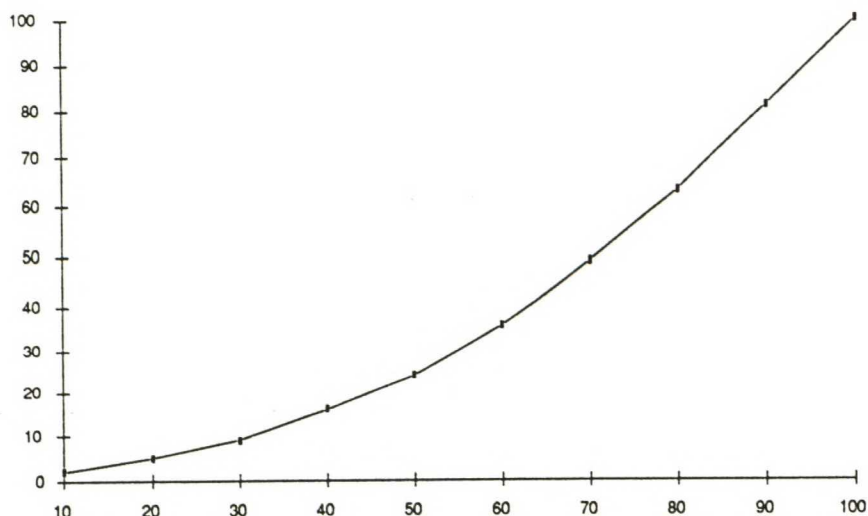
Kuva 3.5 Päälle/pois säätö. (a) Päivänvalo voi korvata keinovalon, kun  $E_{pv} > E_v$ , (b) Päivänvalo ei voi korvata keinovaloa, koska  $E_{pv}$  on aina pienempi kuin  $E_v$ .  $t_e$  on aika, jolloin päivänvaloa ei voida käyttää hyväksi.

Valokatteisten tilojen kannalta päälle/pois -säädön huonona puolena ovat suuret valaistusvoimakkuuden muutokset. Muutoksen häiritsevyyttä voidaan arvioida kuvan 3.6 avulla. Valaistustasoa voidaan laskea 10...20 tai jopa 30 % ilman, että silmä havaitsee merkittävää muutosta. Nyrkkisääntönä on annettu myös sääntö, jonka mukaan, jos

- $\Delta E < 50 \text{ lx}$ , ei muutos ole havaittava
- $50 < \Delta E < 200 \text{ lx}$ , muutos havaitaan, mutta se ei ole häiritsevää
- $\Delta E > 200 \text{ lx}$ , on muutos häiritsevää.

/3/

Muutoksen häiritsevyys on kuitenkin, niin kuin kuva 3.6 osoittaa, aina riippuvainen myös alkuperäisestä valaistustasosta.



Kuva 3.6 Silmän havaitsema muutos valaistuksessa todelliseen muutokseen verrattuna. /54/

Jos päivänvalo tuottaa sisälle suhteellisen pienen valaistusvoimakkuuden, ei päälle/pois -säädöllä pystytä hyödyntämään päivänvaloa lainkaan. Hyvänä puolena ovat yksinkertaisuus ja edullinen säätölaitteisto sekä säätötavan soveltuvuus purkauslamppuille.

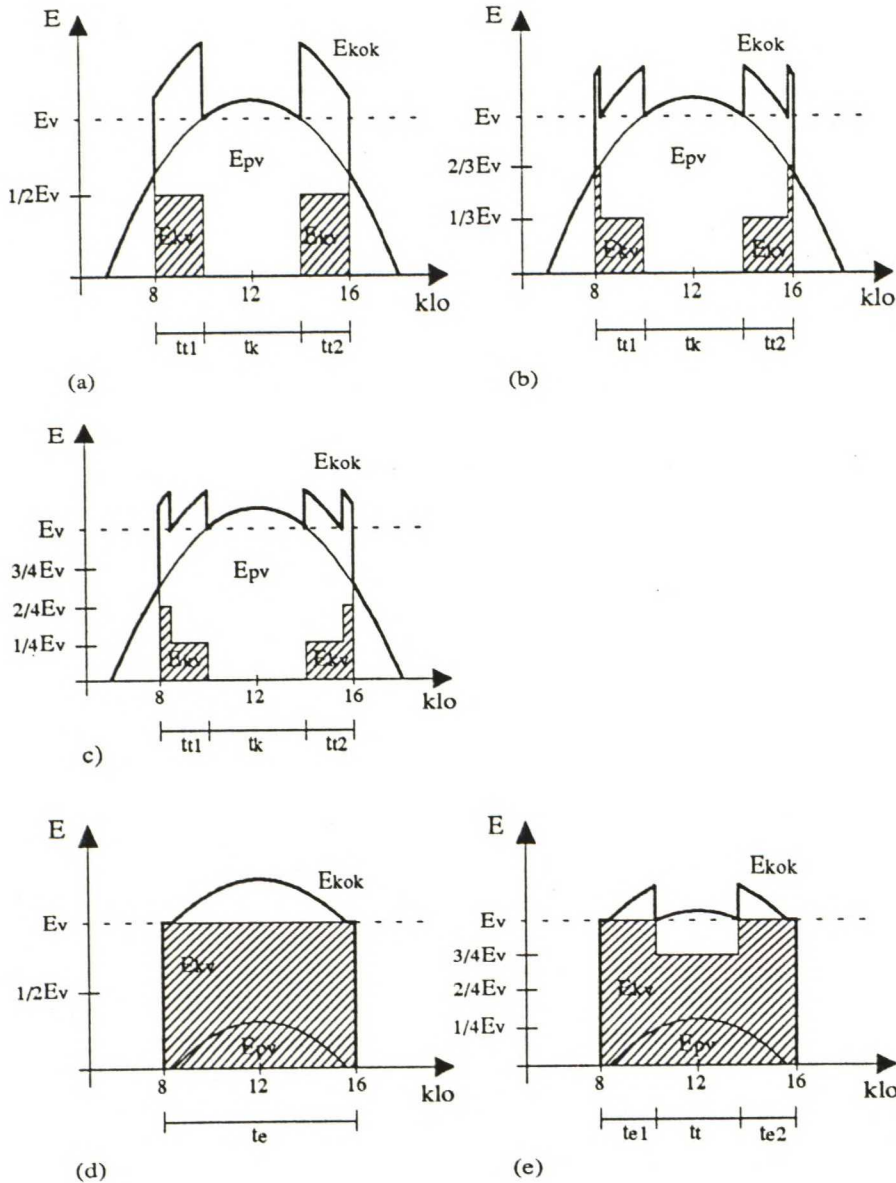
### 3.3.3.2 Portaittainen säätö

Portaittaisessa säädössä keinovalo voidaan kytkeä kahdessa tai useammassa osassa pois päältä tai päälle. Portaittaisella säädöllä voidaan päivänvaloa käyttää hyväksi silloinkin kun päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus ei yksinään riitä alueen valaistukseksi eli, kun  $E_m < E_{pv} < E_v$ .

Kun  $E_{pv} < E_m$ , ei päivänvaloa voida enää hyödyntää ja  $E_{kv} = E_v$ . Portaittaiselle säädölle pienin hyödynnettävissä oleva päivänvalon valaistusvoimakkuus  $E_m = \Delta E$ .  $\Delta E$  on valaistusvoimakkuuden muutos kahden peräkkäisen portaan välillä.



Kuvassa 3.7 on kuvattu portaittaista säätöä. Valaistusvoimakkuusalue  $0 \dots E_v$  jaetaan kahteen tai useampaan osaan, jotka yleensä ovat yhtäsuuria. Yksinkertaisuuden vuoksi voidaan säätötapaa analysoitaessa olettaa, että muutokset valaistusvoimakkuuksista ovat yhtäsuuria. Jos valaistusvoimakkuus  $E_v$  jaetaan kahteen osaan, saadaan 3-portainen säätö ( $E_{kv} = 0; 0,5E_v$  ja  $E_v$ ), kun  $E_v$  jaetaan kolmeen osaan saadaan 4-portainen säätö ( $E_{kv} = 0; 0,33E_v; 0,67E_v$  ja  $E_v$ ) jne.



Kuva 3.7 Portaittainen säätö. (a) 3-portainen, (b) 4-portainen ja (c) 5-portainen säätö, kun  $t_k > 0$ . (d) 3-portainen säätö ja (e) 5-portainen säätö, kun  $t_k = 0$ .

Päälle/pois säätö, jota on kuvattu luvussa 3.3.3.1, on itseasiassa 2-portainen

säätötapa ( $E_{kv} = 0$  ja  $E_v$ ). Kuvasta 3.4 (a) ja 3.5 (a), (b) ja (c) havaitaan, että kun portaiden lukumäärää kasvatetaan,

- valaistusvoimakkuuden muutokset pienenevät ja valaistusvoimakkuuden keskiarvo lähenee  $E_v$ :ä.
- $E_{kokmax}$  pienenee, koska  

$$E_{kokmax} = E_v + \Delta E \quad \text{ja} \quad (19)$$

$$\Delta E3 > \Delta E4 > \Delta E5.$$
- keinovalon täydentäminen päivänvalolla tehostuu, jolloin keinovalaistuksen tuottama valaistusvoimakkuus ja siten myös sähkönkulutus vähenee.

Kuvista 3.5 (b) ja 3.7 (d) ja (e) havaitaan, ettei portaiden lisäämisestä ole hyötyä, jos  $E_{pvm} < \Delta E$ .

Portaittaista säätöä kannatta harkita valokatteisessa tilassa, jos päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus on niin pieni, ettei päälle/pois -säätö kykene sitä hyödyntämään. Portaittainen säätö on suhteellisen yksinkertainen toteuttaa. Hyvänä puolena päälle/pois -säätöön verrattuna on myös valaistuksen muutosaskeleen madaltuminen. Toisaalta muutoksien lukumäärä lisääntyy, mikä puolestaan saattaa herättää ärtymystä. Muutosten lisääntyminen vaikeuttaa lisäksi purkauslamppujen käyttämistä niiden pitkien syttymisaikojen vuoksi. Portaittaisessa säädössä on varmistauduttava siitä, että valaistus säilyy tasaisena valaistusta säädettäessä.

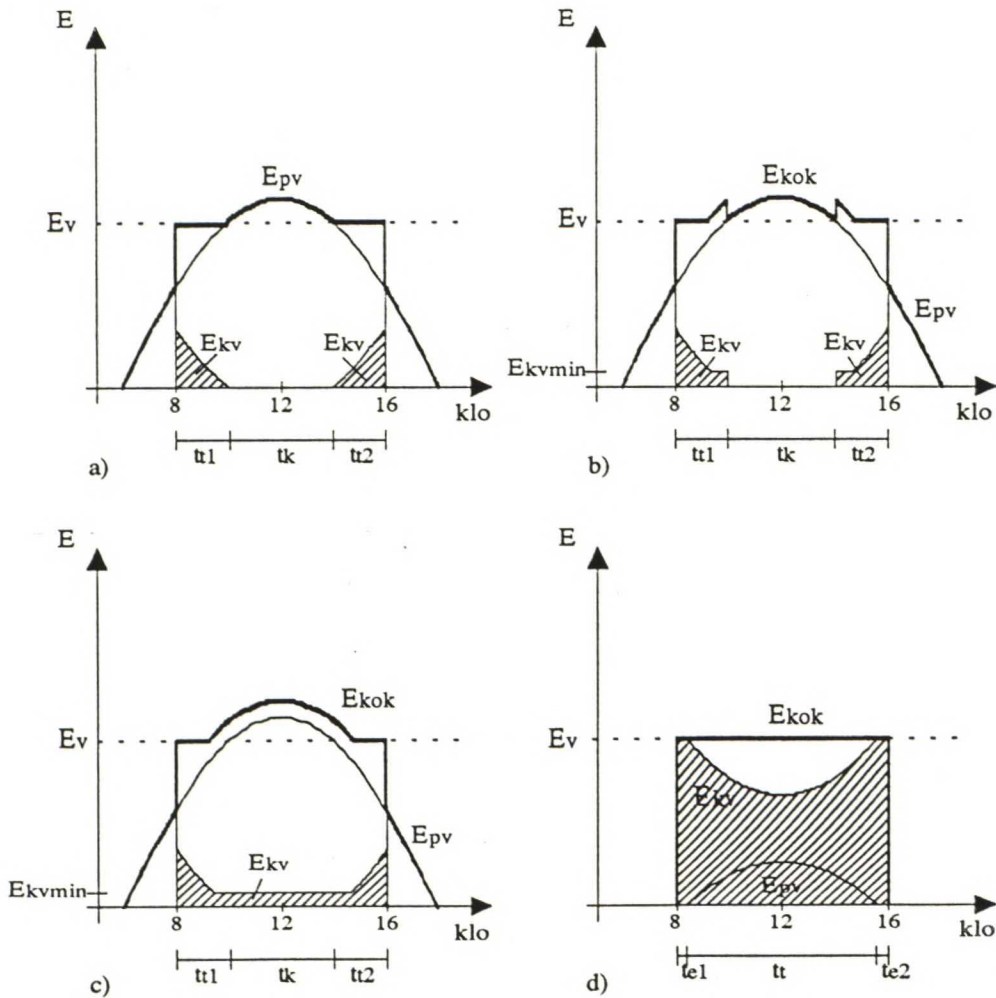
### 3.3.3.3 Jatkuva säätö

Jatkuvassa säädössä keinovaloa säädetään koko ajan päivänvalon mukaan. Ideaalisessa tapauksessa valonlähteet olisivat säädettävissä alueella 0...100 % ja keinovalaistusta käytettäisiin vain täsmälleen niin paljon kuin on välttämätöntä, jotta  $E_{kok} = E_v$ . Ideaalista jatkuvaa säätöä on kuvattu kuvassa 3.8 (a). Todellisessa elämässä vain harvoja valonlähteitä kyetään säätämään 0...100 % ja useita valonlähteitä ei kyetä säätämään laisinkaan. Jatkuvan säädön analysoimisessa oletetaan, että valonlähteen valotehokkuus pysyy vakiona säädön aikana.

Todellisuudessa tilanne on useimmiten kuvien 3.8 (b) tai (c) mukainen /3/. Ideaaliseen tilanteeseen verrattuna keinovalaistuksen tarve kasvaa, koska se voidaan kytkeä pois vasta, kun  $E_{kok} > E_v + E_{kvmin}$  (kuva 3.8 (b)). Jos keinovaloa ei voida kytkeä kokonaisuudessaan pois, lisääntyy keinovalon kulutus vielä hiukan edellisiin verrattuna (kuva 3.8 (c)).



Jatkuvalla säädöllä  $E_{\text{kok}}$  on eri säätötapoihin verrattuna kaikkein lähinnä  $E_v$ :ä. Tällöin keinovalaistuksen sähkönkulutus on pienintä ja valaistuksen tuottama lämpökuorma pienimmillään. Vertaamalla kuvaa 3.8 (d), jossa päivänvaloa ei ole kovinkaan runsaasti käytettävissä, vastaaviin kuviin 3.5 (b) sekä 3.7 (d) ja (e) havaitaan, että vähäinenkin päivänvalo kyetään käyttämään tehokkaasti hyväksi.



Kuva 3.8 Jatkuva säätö. (a) Ideaalinen tilanne, (b)  $E_{kv\min} = 0,1E_v$  ja keinovalon poiskytkentä mahdollinen, (c)  $E_{kv\min} = 0,1E_v$ , keinovaloa ei voi kytkeä pois käytöstä. (d)  $E_{pv}$  on aina pienempi kuin  $E_v$ .

Jatkuvan säädön käyttämistä valokatteisissa tiloissa rajoittaa kaikkein eniten valonlähteiden himmennettävyyssominaisuudet. Isoihin valokatteisiin tiloihin soveltuvat purkauslamput kun eivät sovellu himmennyskäyttöön. Toinen jatkuvan säädön käyttämisen este on laitteistojen kalleus.

### 3.3.3.4 Säätoanalyysi

Alueittain lasketaan päivänvalon käytettävyyys ja saavutettavat energiansäästöt jokaiselle säätötavalle. Laskelmien perusteella voidaan valita kaikille alueille sama tai eri säätömenetelmä.

Säätötapojen analysoimisen laskenta etenee seuraavan ohjelman mukaisesti:

1. Lasketaan kunkin säätöalueen päivänvalon käytettävyysskertoimet päivänvalo-  
a korvaavana ja täydentävänä sekä kirkkaan, että pilvisen taivaan olosuhteissa

$pvk_{k,ki}$  ja  $pvk_{k,pi}$   
 $pvk_{t,ki}$  ja  $pvk_{t,pi}$

Kaavat: 6 ja 7

2. Lasketaan kullekin säätöalueelle päivänvalon käytettävyysskerroin kirkkaille  
ja pilvisille olosuhteille

$PVK_{ki}$  ja  $PVK_{pi}$

Kaava: 8

3. Lasketaan auringonpaistetuntien mukaan painotetut päivänvalokertoimet  
kullekin säätöalueelle 1...n

$PVK_1, PVK_2, \dots, PVK_n$

Kaava: 9

4. Lasketaan huoneen päivänvalon käytettävyysskerroin säätöalueiden pinta-  
alojen mukaan painotettuna, säätöalueiden päivänvalon  
käytettävyysskertomien keskiarvona

$$PVK_{huone} = (PVK_1 A_1 + PVK_2 A_2 + \dots + PVK_n A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \quad (11)$$

$PVK_{huone}$ :n laskemiseen käytetyt alueen PVK:t edustavat kullakin alueella  
käytettyä säätötapaa, jonka ei tarvitse olla joka alueella sama.

5. Kohtien 1...4 mukaan lasketaan huoneen päivänvalon käytettävyysskertoimet  
jokaiselle vuodenajalle, vuodenaikaa edustavalle kuukaudelle, joka  
kuukaudelle tai tarvittaessa myös lyhyemmille ajanjaksoille siten, että



päivänvalon käyttäytyminen ja saatavuus tilassa selviää. Päivänvalon vuotuinen käytettävyysskerroin voidaan laskea eri aikojen käytettävyysskertoimien keskiarvona. Esim. jos käytettävyysskertoimet on laskettu kuukausittain, saadaan vuotuiseksi käytettävyysskertoimeksi:

$$PVK_{\text{vuosi}} = (PVK_{\text{tam}} + \dots + PVK_{\text{jou}}) / 12 \quad (12)$$

Kukin säätövaihtoehto käsitellään kohtien 1...5 mukaisesti ja tuloksia vertaillaan keskenään. Säättötapojen vertailussa on päivänvalon käytettävyysskertoimien lisäksi kiinnitettävä huomiota sähköenergian kulutukseen (luku 3.3.6), valaistusvoimakkuuksien muutoksiin vuorokauden eri aikoina ja kustannussäästöihin (luku 3.3.7).

### 3.3.4 Säädin

Säädin säätelee saamiensa ohjeiden mukaan yhden tai useamman valonlähteen tehonsyöttöä. Säädin voi olla kytkin tai himmennin.

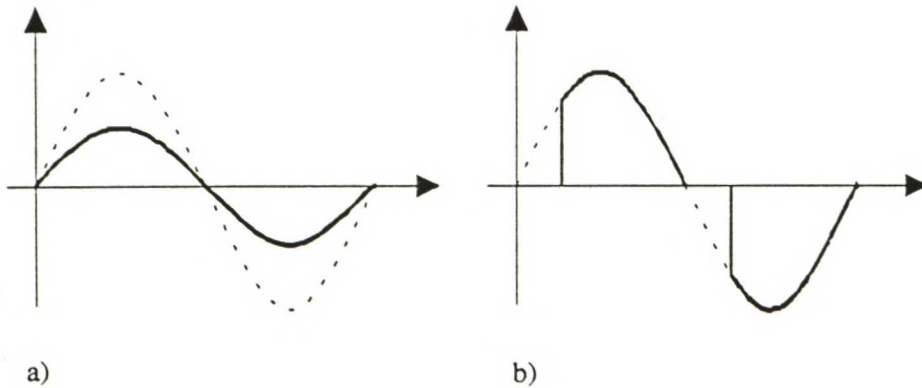
Yleisin ja yksinkertaisin tapa toteuttaa valaistuksen ohjaus on valaisimien syöttöjohtoon sijoitettu kytkin. Kytkin soveltuu käytettäväksi päälle/pois- tai portaittaiseen säätöön. Kytkin soveltuu vain manuaaliseen valaistuksen ohjaukseen ja pieniin tiloihin ja valaistustehoihin. Jos halutaan automaattista ohjausta tai tila tai valaistusteho on suuri, on kytkin korvattava pienjännitteisellä ohjauspiirillä ja kontaktorilla tai releillä. /11,67/

Portaittainen säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä tilassa valaisimia, joissa on useampia lamppuja. Valaisin johdotetaan siten, että lamppuja voidaan sytyttää ja sammuttaa yksitellen. Valaistusvoimakkuuksien muutokset eri portaiden välillä voivat olla erisuuria. /6,12/

Himmennin säätää valonlähteen tehonsyöttöä jatkuvasti saamansa ohjauksen mukaisesti. Himmennintä voidaan käyttää paitsi jatkuvaan säätöön myös päälle/pois tai portaittaiseen säätöön. Himmennin portaittainen säätö voidaan toteuttaa vähentämällä tai lisäämällä valonlähteiden valontuottoa porrasta vastaavalla tavalla. Tällöin tasainen valaistustulos on helppo säilyttää portaittaisessakin säädössä. Eri portaiden välistä valaistustason muutosta voidaan pehmentää säätämällä valaisimien valontuotto hitaasti uutta porrasta vastaavaan arvoon, jolloin valaistustason muutos ei välttämättä tunnu häiritsevältä.

Himmennin säätää valonlähteen jännitettä joko säätämällä jännitteen amplitudia vastuksen, sarjaimpedanssin tai säädettävän muuntajan avulla tai nk. vaihekulmasäätimellä. Vaihekulmasäädin voidaan tehdä tyristoreista tai transistoreista.

Säätötapojen vaikutus jännitteen käyrämuotoihin on esitetty kuvassa 3.9. Lähes kaikki säätimet ovat nykyään vaihekulmasäätimiä. Amplitudia säätäviä säätimiä käytetään nykyisin vain suuritehoisten purkauslamppujen säätämiseen. /53/



Kuva 3.9 Syöttöjännitteen käyrämuodot kun lamppujännitettä säädetään (a) amplitudia säätämällä ja (b) tyristorivaihekulmasäätimellä. /53/

### 3.3.5 Ohjaus

#### 3.3.5.1 Manuaalinen vai automaattinen ohjaus?

Manuaalisen säädön etuna on sen yksinkertaisuus ja edullisuus. Säädön automatisoiminen puolestaan takaa sen, että säätöjärjestelmä toimii niin kuin suunnittelijat ovat sen tarkoittaneet toimivan. Jotta manuaaliset säätötoimenpiteet tehtäisiin, tarvitsee käyttäjä toimenpiteeseen riittävän motiivin. Tällainen motiivi voi olla henkilökohtainen hyöty kuten esimerkiksi sähkölaskun pieneneminen tai työnantajan työntekijöilleen energian säästämistä maksama palkkio. Manuaalinen säätö jää usein tekemättä paitsi motivaation puuttesta myös siksi, että parasta säätötoimenpidettä kuhunkin tilanteeseen ei tunneta.

Jos manuaalista säätöä käytetään, ei kovin monimutkainen säätöjärjestelmä ole mahdollinen. Jos säätäminen tehdään liian vaikeaksi, se jää todennäköisesti tekemättä. Kolmiportaista säätöä voidaan pitää monimutkaisuuden ylärajana.

Kaikissa rakennuksissa syntyy joskus tilanteita, joissa tarvitaan mahdollisuus automaattisen säädön ohittamiseen. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi siivous tai viikonloppujen tai loma-aikojen aikainen työnteko. Siksi on lähestulkoon aina automaattisen säädön lisäksi säätöjärjestelmään sisällytettävä manuaalisen ohjauksen mahdollisuus. Mahdollisuus puuttua tarvittaessa automaattiseen säätöön on usein tarpeellinen myös tilan käyttäjien viihtymisen kannalta. Tällöin tulee kuitenkin huolehtia, ettei automaattista säätöä ohiteta tarpeettomasti.



Jos käytetään vain manuaalista säätöä, on parasta olettaa säädöstä aiheutuvat energiansäästöt olemattomiksi, koska säädön toteutumisesta ei ole takeita. Jos halutaan, että säätäminen tapahtuu suunnitelmien mukaisesti on säätö tehtävä automaattiseksi. /3,5,70/

### 3.3.5.2 Automaattinen ohjaus

Automaattisen säätöjärjestelmän "aivoina" toimii ohjausyksikkö, joka ottaa vastaan signaaleja valoanturilta, käsittelee saamansa signaalin ja lähettää tarvittavat ohjauskäskyt säätimelle. Monissa valonsäätöjärjestelmissä ei ohjausyksikköä ole lainkaan. Esimerkiksi hämäräkytkimessä mittausta, ohjaus ja säätö tapahtuvat samassa laitteessa. Ohjaustehtävät on voitu myös jakaa useamman laitteen kesken. Kehittyneemmät ohjauslaitteet ovat mikroprosessoriohjattuja ja ohjelmoitavia. Ohjaus voidaan liittää tietokoneohjaukseen ja useimmissa järjestelmissä rakennuksen muun automaation hallintajärjestelmiin.

Päivänvalon mukaisen keinovalon säädön edellytyksenä on, että kyetään määräämään se valoanturin tuntema valaistusvoimakkuus, joka edustaa tilan minimivalaistusvoimakkuutta. Tämän kynnysvalaistusvoimakkuuden asettaminen on aina tehtävä valmiille asennukselle ja kalustetulle huoneelle, jotta anturin mittaama valaistusvoimakkuus vastaisi anturilla valvottavan tilan valaistusvoimakkuutta. Yleensä valaistusvoimakkuuden asettaminen on hankalaa ja siihen tarvitaan järjestelmän tuntevaa ammattimiestä. Koska anturin virittäminen on hankalaa, jää se todennäköisesti tekemättä, kun tilan valaistusvaatimukset muuttuvat esimerkiksi käyttötarkoituksen tai käyttäjien muuttuessa.

Olosuhteissa, joissa päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus vaihtelee juuri kynnysvalaistusvoimakkuuden tuntumassa, voidaan valojen jatkuva syttyminen ja sammuminen estää asettamalla keinovalon katkaiseva valaistusvoimakkuus suuremmaksi kuin sytyttävä valaistusvoimakkuus. Suuremmat puolipilvisen taivaan aiheuttamat häiritsevät keinovalon nopeat muutokset voidaan eliminoida hidastus- ja viivepiireillä, jotka hidastavat joko sytytystä tai sekä sytytystä että sammutusta. Koska ohjaus ei hidastuksen vuoksi välittömästi reagoi valotasojen muutoksiin, voidaan eliminoida myös liikkuvistaesineistä (kellotaulu, peili...) anturiin heijastuneiden valonsäteiden aiheuttamat virheohjaukset. /63,64/

Päälle/pois- ja portaittaisessa säädössä voidaan ohjauslaitteen avulla asettaa portaiden välille hidastus niin, ettei muutos niiden välillä tapahdu yht'äkkisesti eikä tunnu niin häiritsevältä.

Ohjauslaitteessa tulisi jatkuvassa säädössä olla mahdollista säätää valaistusvoimakkuudelle kiinteä minimitaso varsinkin, jos järjestelmää voidaan ohjata manuaalisesti.

Näin varmistetaan, etteivät esimerkiksi loistelamppujen eliniät lyhene liian alhaisen säätötason takia.

Erilliset ohjausyksiköt voivat ohjata useampaa säädintä tai säädinryhmää yhdessä tai jotkut myös erikseen. Jos ohjausyksikkö voi ohjata useita eri säätöryhmiä erikseen, voidaan yhdellä valokennolla hallita useita säätöalueita. Tällöin tulee vain varmistua, että mittauspaikan olosuhteista saadaan yksiselitteinen kuva ohjattavien alueiden valaistusvoimakkuudesta. Säätimien erillissäätöä tarvitaan myös, jos säätöalueella käytetään erilaisia valonlähteitä. Sama tehonmuutos aiheuttaa eri valonlähteille erisuuren valontuoton muutoksen. Lamput tarvitsevat eri ohjauskäskyn säätimilleen, jotta valaistustaso pysyisi haluttuna.

Valoanturin lisäksi ohjauslaite voi saada ohjaussignaaleja manuaalisesti ohjattavista kytkimistä, potentiometreistä, ohjauspaneeleista ja infrapunaohjaimista. Ohjaukseen voivat olla liitettyinä myös esimerkiksi aika- ja/tai läsnäoloanturit. Erilaisten ohjaussignaalien avulla saadaan järjestelmästä monipuolinen ja tilanteen mukaan joustava; valoa saadaan oikeaan paikkaan, oikeaan aikaan ja riittävästi myös yksilöllisiä tarpeita vastaavasti.

### 3.3.6 Valaistusenergian kulutuksen laskeminen

Valaistusenergian kulutus voidaan laskea valaisemiseen tarvittavasta tehosta ja valaistuksen käyttöajasta

$$W_s = P t \quad (13)$$

missä	$W_s$	on valaistuksen kuluttama sähköenergia [Wh]
	$P$	on valaistuksen sähköteho [W]
	$t$	on valaistuksen vuotuinen käyttöaika [h]

Suunnittelun alkuvaiheessa, valaistuksen tarvitsemaa tehoa voidaan arvioida kyseiseen tilaan sen käyttötarkoituksen mukaan suositellulla sähköteholla tilan pinta-alaa kohden. Suomen valoteknisen seuran antamissa Sisävalaistussuosituksissa on annettu taulukko 3.4, jossa on ilmoitettu huolellisella suunnittelulla saavutettavissa olevia yleisvalaistuksen sähkötehoja pinta-alaa kohden. Taulukon neliötehot ovat karkea arvio, eikä taulukossa ole ilmoitettu olosuhteita, joissa ilmoitetut neliötehot on saavutettavissa. Mikäli huoneen korkeus on poikkeuksellisen suuri (> 3 m) tai huonepinnat ovat normaalia tummempia, joudutaan neliötehoja nostamaan. Korkeuden vaikutusta voidaan arvioida esimerkiksi seuraavalla, neliölaista johdetulla yhtälöllä:



$$E_1 = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_1^2}$$
$$E_2 = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_2^2}$$
$$\Rightarrow E_2 = \frac{h_2^2}{h_1^2} E_1$$
$$\Rightarrow P_2 = \frac{h_2^2}{h_1^2} P_1$$

(14)

joissa  $E_1$  ja  $E_2$  ovat valaistusvoimakkuuksia  
 $I_\alpha$  on valonlähteen valovirta tarkastelusuuntaan  
 $\alpha$  on pystysuoran ja tarkastelusuunnan välinen kulma  
 $h_1$  on valaisimien asennuskorkeus normaaliolosuhteissa (2,5 m)  
 $h_2$  on valaisimien asennuskorkeus  
 $P_1$  ja  $P_2$  ovat vastaavat neliötehot

Yhtälössä 14 on oletettu, että tehontarve kasvaa samassa suhteessa kuin valaistusvoimakkuusvaatimuskin, mikä ei aivan pidä paikkaansa.

Taulukko 3.4 Valaistukseen tarvittava sähköteho (liitäntälaitteen häviöt mukaan lukien) pinta-alayksikköä kohti yleisvalaistuksessa hyvää valaistustapaa noudatettaessa. Valaistusta oletetaan huollettavan niin, ettei alenemakerroin mene pienemmäksi kuin 0,65...0,7. /7/

Valaistus- voimak- kuus / lx	Teho pinta-alayksikköä kohti, W/m <sup>2</sup>			
	Loistelamppu valaistus	Elohopealamppu valaistus	Monimetalli- lamppu valaistus	Suurpainenatrium- lamppu valaistus
100	3	4	3	2
150	4,5	6	4,5	3
200	6	8	6	4
300	9	12	9	6
500	15	20	15	10
750	23	30	23	15
1000	30	40	30	20

Valaistuksen sähköteho voidaan laskea sähkötehosta pinta-alaa kohden yhtälön 15 avulla. /3/

$$P = p A$$

(15)

missä  $P$  on valaistuksen sähköteho [W]

p on valaistuksen tarvitsema teho pinta-alayksikköä kohden [W/m<sup>2</sup>]  
A huoneen pinta-ala [m<sup>2</sup>]

Kun valaistukseen käytetään osaksi päivänvaloa, modifioidaan yhtälö 15 siten, että se ottaa huomioon keinovalon säätämisen aiheuttaman sähkötehon pienenemisen ja päivänvalon käytettävyyden. Teho riippuu säätötavasta.

Portaittaiselle säädölle saadaan /3/

$$P = \sum_{i=1}^m (PP_i \cdot p \cdot A \cdot PVK_i) \quad (16)$$

missä m on portaiden lukumäärä  
PP on kunkin portaan sähkötehon suhde säätämättömään tehoon. PP:n arvot on lueteltu 1...5-portaisille säädöille taulukossa 3.5.  
PVK<sub>i</sub> kyseisen portaan päivänvalokerroin

Taulukko 3.5 Kertoimen PP arvot 1...5-portaisten säätöjen eri portaille ja jatkuvalla säädölle. /3/

Säätötapa	PP eri säätöportaissa				
	1. E <sub>pv</sub> > E <sub>v</sub>	2.	3.	4.	5.
Päälle / pois	0	1,0			
3-port	0	0,50	1,0		
4-port	0	0,33	0,67	1,0	
5-port	0	0,25	0,50	0,75	1,0
Jatkuva + poiskytkentä	0	PP	1,0		
Jatkuva ei poiskytkentää	PP <sub>min</sub>	PP	1,0		

Ensimmäiselle portaalte, eli portaalte, jossa päivänvalo korvaa kokonaan keinovalon

$$PVK_1 = p v k_k \quad (17)$$

missä PVK<sub>1</sub> on ensimmäisen portaan päivänvalon käytettävyysskerroin  
p v k<sub>k</sub> on päivänvalon käytettävyysskerroin keinovalon korvaavana

Viimeiselle portaalte m, eli portaalte, jossa keinovalo on kokonaisuudessaan käytössä



$$PVK_m = 1 - \sum_{i=1}^{m-1} PVK_i \quad (18)$$

Muiden portaiden päivänvalokerroin on säätöportaan käyttöajan osuus koko käyttöajasta.

Jatkuvaalle säädölle valaistuksen teho voidaan päivänvaloa täydentävä tehonkulutus laskea yhtälöstä

$$P = p A PVK \int_{PE_{min}}^1 PP dPE \quad (19)$$

missä  $PE$  on valaistustason suhde säätämättömään valaistustasoon,  $E/E_v$   
 $PP$  on sähkötehon suhde säätämättömään tehoon,  $P/P_{max}$

Jos  $PP = PE$  koko säätöalueella eli sähkötehon muutos aiheuttaa suhteellisesti yhtä suuren muutoksen valaistustasoon, saadaan yhtälöstä 20

$$\begin{aligned} P &= p A PVK \int_{PE_{min}}^1 PE dPE \\ &= p A PVK (1/2 - 1/2 PE_{min}^2) \end{aligned} \quad (20)$$

$$PE_{min} = E_{kvmin} / E_v \quad (21)$$

Muiden aikojen tehonkulutus ( $E_{kv} = 0$  tai  $E_v$ ) lasketaan kuten portaittaisessa säädössä.

Jatkuvan säädön tehonkulutus voidaan laskea myös jakamalla säätöalue useisiin portaisiin ja käsittelemällä säätöä portaittaisena. Menetelmä on käyttökelpoinen erityisesti, jos laskenta tehdään tietokoneella. Jo runsaalla kymmenellä portaalla päästään suhteellisen tarkkaan tulokseen. /3/

Jatkuvalle säädölle, jossa on keinovalon poiskytkentämahdollisuus, kun  $E_{pv} > E_v$ , saadaan portaittaista laskentaa käytettäessä yhtälöstä 22:

$$P = 0 \text{ p A pvk}_k + \sum_{i=2}^{m-1} (PP \text{ p A } \Delta PVK) + 1 \text{ p A } (1 - PVK_{m-1}) \quad (22)$$

Jatkuvalle säädölle, jossa ei ole keinovalon poiskytkentämahdollisuutta, kun  $E_{pv} > E_v$ , saadaan portaittaista laskentaa käyttettäessä yhtälöstä 23:

$$P = PP_{\min} \text{ p A pvk}_k + \sum_{i=2}^{m-1} (PP \text{ p A } \Delta PVK) + 1 \text{ p A } (1 - pvk_m) \quad (23)$$

/3/

Kun sähköteho on laskettu, saadaan valaistuksen kuluttama energia yhtälöstä 13.

Mikäli tarkasteltavassa tilassa on useita valaistuksen säätöalueita, lasketaan kunkin säätöalueen teho erikseen. Säätöalueiden tehojen summa sijoitetaan yhtälöön 13 energiankulutuksen laskemiseksi.

### 3.3.7 Kustannusten laskeminen

Valaisusenergian kustannuksia arvioitaessa on rakennuksen käytön aikaisen kulutuksen lisäksi otettava huomioon rakennuksen varsinaisen käyttöajan ulkopuolella tapahtuva energiankulutus. Tällaista käyttöajan ulkopuolista kulutusta ovat esimerkiksi yövalot ja turvavalaistus sekä viikonloppujen ja loma-aikojen aikainen kulutus. Yövalot ja turvavalaistus kuluttavat yhtä paljon niin päivänvaloa hyödyntävässä kuin hyödyntämättömässäkin valaistusjärjestelmässä. Viikonloppujen ja muun loma-ajan aikainen valaistus voidaan tehdä päivänvalolla valaistussa rakennuksessa päivänvaloa hyödyntäväksi tai hyödyntämättömäksi. Jos loma-ajan valaistus ei hyödynnä päivänvaloa, on kulutus yhtä suuri, kuin päivänvaloa hyödyntämättömässäkin rakennuksessa. Jos loma-ajan aikainen kulutus on merkittävää ja päivänvaloa käytetään tänä aikana hyväksi, voidaan päivänvalon hyötykäytöstä aiheutuva loma-ajan valaistusenergian kulutuksen väheneminen ottaa huomioon.

Rakennukset ostavat sähkönsä alueen sähkölaitokselta kunkin sähkölaitoksen tariffien mukaisesti. Yleensä julkiset rakennukset ostavat sähkönsä tehotariffilla, mikä tarkoittaa sitä, että sähköstä maksetaan erikseen rakennuksen huipputehosta riippuva tehomaksu ja sähkönkulutuksesta riippuva energiamaksu. Monissa julkisissa rakennuksissa valaistuksen osuus sähkönkulutuksessa on varsin suuri; toimistorakennuksissa jopa 40...60 %. Tällaisissa rakennuksissa valaistusenergian



kulutuksen vähentäminen voi vähentää huipputehoa merkittävästi. Tehomaksu riippuu yleensä huipputehosta portaattaisesti siten, että aina huipputehon pieneneminen ei välttämättä aiheuta tehomaksun pientymistä. Jos kahden portaan välinen kynnyks alittuu, tehomaksu pienentyy.

Energiamaksu riippuu kulutetusta sähköenergiasta siten, että kulutuksen väheneminen johtaa aina maksun pienenemiseen. Energiamaksu lasketaan yhtälöstä

$$H_w = h_w W \quad (23)$$

missä  $H_w$  on energiamaksu [mk]  
 $h_w$  on energian hinta [mk/MWh]  
 $W$  on energiankulutus [MWh]

### 3.3.8 Yhteenveto säätöjärjestelmän valinnasta

Säätöjärjestelmän kokonaiskustannukset koostuvat laitteistosta, sen hoitokuluista ja kustannuksia vähentävistä säästöistä. Valon säätämisen ensisijaisena tarkoituksena on vähentää valaistuslaitteiden sähkönkulutusta. Säätäminen pidentää merkittävästi hehku- ja halogeenilamppujen elinikää. Muillakin lamppuilla säätäminen pidentää lamppujen vaihtoväliä, koska lamppuja poltetaan pienemmän osan päivästä. Näin säästetään huolto- ja lamppukustannuksissa. Lamppujen vaihtoväliä säätökäytössä voidaan arvioida yhtälön 24 avulla.

$$\Delta t_v = t_{pi} / p_{vk_k} \quad (24)$$

missä  $\Delta t_v$  on lamppujen vaihtoväli [h]  
 $t_{pi}$  on lamppujen polttoikä ilman säätöä [h]  
 $p_{vk_k}$  on päivänvalon käytettävyyden keinovalon korvaavana

Säätäminen vähentää lamppujen tuottamaa lämpökuormaa, millä on merkitystä lämpiminä aikoina, jolloin ylimääräinen lämpö joudutaan poistamaan kalliisti ilmastoinnin kautta. Talvella valaisimien lämmöntuotannon pieneneminen lisää lämmittämisen tarvetta.

Säätötavan valinnassa voidaan lähteä vertaamalla eri säätötapojen tuottamia säästöjä keskenään. Tilanne eri vuodenaikoina on hyvin erilainen ja ne on otettava vertailussa huomioon. Päälle/pois-säätö on paras ratkaisu, kun päivänvalon suurimman osan aikaa kaikkina vuodenaikoina pystyy täysin korvaamaan keinovalon eli, kun  $p_{vk_k}$  on lähellä yhtä. Tällainen tilanne on usein sellaisissa

valokatteisissa tiloissa, joissa valoa läpäisevän rakenteen osuus tilan pinnoista on suuri tai maissa, jotka sijaitsevat alhaisilla leveysasteilla. Yksinkertainen säätötapa on paras ratkaisu, jos monimutkaisemmalla säädöllä ei saavuteta yksinkertaiseen ratkaisuun verrattuna merkittävästi enemmän säästöjä.

Kun päivänvalo ei riitä kokonaan korvaamaan keinovaloa, on keinovaloa kyettävä käyttämään osittain. Tällöin käytettävissä ovat portaittainen tai jatkuva säätö. Jatkuvalla säädöllä saavutetaan päivänvalosta maksimaalinen hyöty. Jatkuvan säädön etuna on myös mahdollisuus kompensoida valaistuksen ylityö. Valaistus pyritään aina ylityöittämään siten, ettei lamppujen ja valaisimien vanheneminen ja likaantuminen vähennä tilan valaistusta liiaksi. Tällöin uusi valaistus antaa selvästi enemmän valoa kuin olisi tarpeen. Jatkuva säätö pitää tilan valaistusvoimakkuuden oikealla tasolla ja säästää energiaa 15-20 % ollen alussa tietenkin suurimmillaan. /64/

Eri säätötapojen kustannuksia verrataan yleensä investoinnin takaisinmaksuaikojen avulla. Vertailukustannuksena käytetään järjestelmää jossa ei ole säätömahdollisuutta. Luonnollista on, että investointikustannukset kasvavat, mitä monimutkaisempaan säätötapaan mennään. Saavutettavia säästöjä vertailtaessa todettiin, että jatkuvalla säätötavalla pienestäkin päivänvalon määrästä saadaan kaikki hyöty irti. Voi kuitenkin olla, ettei maksimaalinenkaan energiansäästö kykene korvaamaan laitteiston kalleutta. Siksi myös pienemmällä päivänvalon käytettävyyksillä käytetään päälle/pois- säätöä. Saavutettava hyöty ei ole suurin mahdollinen, mutta toisaalta tavanomaiseen ratkaisuun ei tarvitse lisätä kuin hämäräkytkin. Päälle/pois säätöön soveltuvat myös kaikki lampputyypit, tosin jonkinlainen hidastus saattaa olla tarpeen.

Valaistuksen ohjausjärjestelmää suunniteltaessa on aina otettava huomioon tilan käyttäjä ja hänen toivomuksensa. Jos tilan käyttäjällä ei ole minkäänlaista mahdollisuutta vaikuttaa automaattisesti säätyvään valaistukseen, koetaan säätäminen usein häiritseväksi ja samalla järjestelmästä löydetään helposti muitakin vikoja. Järjestelmistä yleisimmin käytettyjä ovat hämäräkytkinohjaukset. Muut sovellukset ovat jääneet muutamien toteutuksiin, jotka ovat "sairastaneet lastentauteja". Kaikkein ei ole osattu varautua, esimerkiksi nopeisiin päivänvalon muutoksiin. Toisaalta laitteiden kalleus on ollut esteenä järjestelmien käyttöönotolle.

Päälle/pois- ja portaittaisen säädön muutokset eri portaiden välissä saattavat tuntua häiritseviltä. Näin käy helposti jos suunnittelukohde on työtila, jossa oleskellaan pitkiä aikoja.

Usein käyttökelpoinen ratkaisu on käyttää erilaisia säätötapoja eri alueilla ja eri valaistustarkoituksiin, mikä on erityisen käyttökelpoista valokatteisissa tiloissa, joissa on useita toiminnaltaan erilaisia alueita. Yleisvalaistuksen lähtökohdaksi voidaan ottaa päivänvalo, jota keinovalo tarpeen mukaan täydentää. Alueille, joissa tarvitaan enemmän valoa otetaan puolestaan lähtökohdaksi keinovalo, jota



päivänvalo voi pystyessään täydentää tai korvata.

### 3.4 VALAISTUKSEN TOTEUTTAMINEN

#### 3.4.1 Valaistustavat

Yleisimmin käytetty valaistustapa valokatteisissa tiloissa on suora valaistus valonheittimistä tai teollisuusvalaisimista korkealta katteesta. Valaistus pyritään tekemään mahdollisimman paljon päivävalaistusta muistuttavaksi; valoa tuodaan tilaan paljon ja se suunnataan ylhäältä alas. Tällaisen valaistustavan vaikeimpana puolena on häikäisyn estäminen. Suuritehoiset lamput ovat pimeän aikaan kirkkaita mustaa taivasta vasten ja estävät tehokkaasti katselemisen ylöspäin. Valaisimien sijoittamisella ja suuntaamisella on mahdollisuus vähentää häikäisyä, mutta täysin häikäisemätön järjestely on useimmiten mahdoton tehdä.

Katteen lisäksi valaisimia voidaan sijoittaa esimerkiksi seinille, pilareihin, valaisinpylväisiin, portaikkoihin ja siltoihin. Yleensä valaistusympäristö on helpompi tehdä miellyttäväksi, jos yhden suuritehoisen valonlähteen sijasta käytetään useita pienempitehoisia valonlähteitä. Sijoittamalla valaisimet matalalle, selvittää pienemmillä lampputehoilla ja valaistus on helpompi suunnitella häikäisyä aiheuttamattomaksi.

Yleisvalaistus ja paikallisvalaistus kannattaa valokatteisissa tiloissa erottaa toisistaan ja valaistus tilassa sijaitsevat työskentelytilat omalla, riittävän työvalon tuottavalla paikallisvalaistuksella. Samala yleisvalaistuksen valaistustaso voidaan pitää kohtuullisena.

Yksinomaan epäsuoraa valaistusta ei valokatteisessa tilassa kannata tehdä, koska toisaalta valon heijastamiseen käytettäviä pintoja on vähän ja toisaalta varjonmuodostus on useimmiten näissä tiloissa tärkeä. Epäsuoraa valaistusta voidaan käyttää hyväksi niissä vähäisissä yhtenäisissä pinnoissa, joita valokatteisessa tilassa on. Yhtenäisiä pintoja voi löytyä seinistä, katosta tai katteen rakenteista. Jos heijastukseen käytettäviä pintoja ei ole, sellainen voidaan tehdä. Yleensä tilan muodon ja tärkeät elementit kannattaa tuoda esiin kohtuullisella valaisuksella kohdevalaistuksen keinoin toteutettuna. Himmeällä materiaalilla katettu kate voidaan valaista sijoittamalla valaisimet katteen ulkopuolelle. Katteen valaiseminen tuo sen esiin myös rakennuksen ulkopuolelta katsottuna. Varsinkin, jos tilaan liittyy valoa läpäiseviä seiniä, tulee muistaa, että sopivasti suunnatut valaisimet näkyvät katteen läpi. Esimerkiksi teiden varsilla, pimeässä ympäristössä lasipinnan läpi näkyvät valaisimet saattavat häikäistä tiellä liikkuvia.

Illalla, kun ulkona on pimeää, on lasipinta sisältä katsottuna kuin peili. Varsin usein näkee, ettei tätä ole otettu huomioon vaan valaisimet peilautuvat ikkunoista suoraan

katsojan silmiin. Tiloissa, joissa on lasiseinä, sisäkuvan peilautuminen lasista estää pimeään aikaan näkemisen ulos. Ainoa keino lisätä näkyvyyttä ulos on lisätä valoa ulkona.

### 3.4.2 Valaisimet

Valokatteiset tilat on vasta aivan viime aikoina otettu huomioon valaisinsuunnittelussa. Ongelmana on ollut löytää korkeisiin tiloihin sopivia, suuritehoisille valonlähteille tarkoitettuja valaisimia. Valittavana ovat oikeastaan olleet vain valonheittimiä ja teollisuusvalaisimia. Valonheittimiä on valokatteisissa tiloissa käytetty paljon. Valonlähteinä käytetään monimetallilamppuja, halogeenilamppuja, elohopealamppuja ja nykyisin myös värikojattuja suurpainenatriumlamppuja. Kuvassa 3.10 on esimerkki valonheittimestä ja teollisuuskäyttöön suunnitellusta syväsiteilijästä.



(a)



(b)

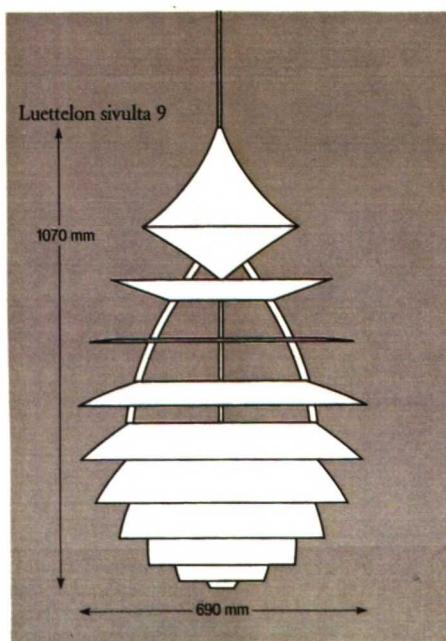
Kuva 3.10 (a) Valonheitin /71/ ja (b) syväsiteilijä /72/

Valonheittimien rinnalla yleisimpiä valokatteisissa tiloissa käytettyjä valaisimia ovat pylväsvalaisimet ja ulos tarkoitetut seinävalaisimet, jotka usein ovat samaa valaisinsarjaa. Valokatteinen tila ja ulkoympäristö liitetään usein toisiinsa käyttämällä näissä samanlaisia pylväsvalaisimia. Loistelamppu- ja pienloistelamppuvalaisimia käytetään seinillä ja tiloissa, joissa on käytettävissä jonkinlainen katto kuten valokatteista tilaa reunustavilla ja siihen liittyvillä käytävillä.

Jotkin valaisinvalmistajat ovat valaisinvalikoimissaan huomioineet valokatteisten ja yleensä korkeiden tilojen valaisintarpeen. Toistaiseksi valaisinvalokoima on kuitenkin varsin suppea ja yleensä valaisimet toistavat muotoilussaan pitemmän aikaan



käytössä olleiden syväsiteilijöiden muotoja. Valaisimissa tulisi toteuttaa suora valaistus riittävällä häikäisy-suojauksella. Kuvassa 3.12 on esimerkki korkean tilan sisustusvalaisimesta. Valonlähteenä valaisimessa on monimetallilamppu.



Kuva 3.12 Giga-valaisin korkeisiin tiloihin. Valonlähteenä monimetallilamppu. /73/

Vakiovalaisimien modifioiminen kulloiseenkin tarkoitukseen sopivaksi on tavallista kaikissa valaistussuunnittelukohdeissa, mutta erityisen yleistä juuri valokatteisissa tiloissa, koska sopivien valaisimien löytäminen on vaikeaa. Valaisimesta voidaan esimerkiksi muuttaa valonlähde, lisätä ilmettä tuovia osia tai yhdistellä useita valaisimia toisiinsa. Valaisin voidaan myös suunnitella alusta lähtien kohdetta varten. Joissakin valokatteisissa tiloissa näkee suuria, useista valopisteistä rakennettuja valotaideteoksia, joiden tehtävä on valaista.

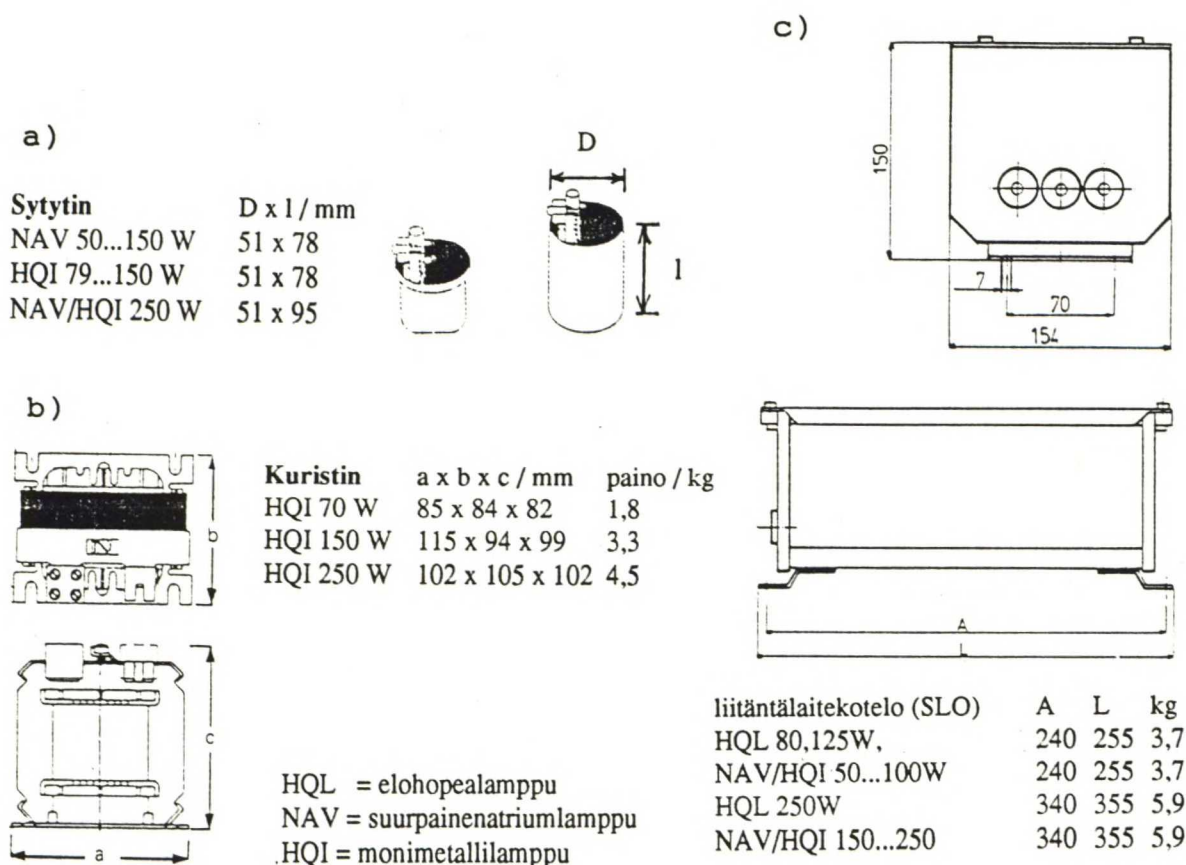
### 3.4.3 Asennukset

Jos valaisimet sijoitetaan keskelle valokatetta, on toisinaan vaikeaa löytää valaisimien tarvitsemalle johdotukselle sijoituspaikka, jossa ne eivät olisi häiritsevästi näkyvissä. Valaisimia tarvitaan yleensä paljon ja tehot ovat suuria, joten asennusjohtojakin on paljon. Sen sijaan johdot piilottavia sijoituspaikkoja on vähän, varsinkin, kun valokatteeseen tilaan varsin usein liittyy myös valoa läpäiseviä seiniä. Valokatteen kantavat rakenteet ovat putkimaisia, joten niiden sisälle voidaan sijoittaa johtoja. Putkeen mahtuvien johtojen määrä on kuitenkin rajallinen. Johtojen sijoittaminen putkeen merkitsee reikien poraamista rakenteisiin. Rakennesuunnittelijalta on varmistettava, etteivät poratut reiät heikennä liiaksi rakenteen kestävyyttä. Valaisimet ja niiden kiinnitysmekanismit voivat olla hyvinkin painavia ja siten rakennetta rasitta-

via. Vaikka rakenteet mitoitetaankin kestävyys suhteen reilusti yli tarvittavan, on aina varmistauduttava, etteivät valaistuslaitteiden aiheuttamat rasitukset ylitä katteen kestävyyttä.

Valokatteisissa tiloissa, joissa valaisimia ohjaavat kytkimet sijoitetaan tilan seinille, voidaan johdotusten tarvetta vähentää käyttämällä infrapunaohjaimia. Tällöin itse kytkin sijoitetaan valaisimeen ja kytkintä ohjaava ohjaussignaali siirtyy esimerkiksi seinään kiinnitetyltä lähettimeltä valaisimessa sijaitsevalle vastaanottimelle infrapunasäteilynä. Erillistä johdotusta seinällä sijaitsevalle kytkimelle ei tarvita.

Monissa purkauslamppuvalaisimissa lampun liitälaitteille ei ole tilaa itse valaisimessa vaan liitälaitteet on ajateltu sijoitettavaksi esimerkiksi valaisinpylvääseen. Jos tällaisia valaisimia halutaan sijoittaa katteeseen, on liitälaitteille löydettävä sopiva sijoituspaikka. Ongelmat kasvavat mikäli useita tällaisista valaisimista rakennetaan suurempi valaisinkokonaisuus. Liitälaitteita ovat sytytin, kuristin sekä kompensointilaitteet (kuva 3.13). Sytyttimen tarvitsevat useimmat monimetallilamput ja suurpainenatriumlamput. Suurtaajuussytyttimen saa sijoittaa korkeintaan kolmen metrin päähän lampusta. Kuristimen ja lampun välinen etäisyys saa olla 15..20 m.



Kuva 3.13 Purkauslamppujen liitälaitteita (a) sytytin, (b) kuristin, (c) liitälaittekotelo. /52,74/



### 3.4.4 Valaistushuolto

Valaistuslaitteet tarvitsevat huoltoa, koska ne likaantuvat, vanhenevat ja rikkoontuvat, minkä seurauksena valaistusvoimakkuus tilassa laskee. Lamppujen vaihto voidaan tehdä yksitellen tai ryhmävaihtona. Yksitellen lamput voidaan vaihtaa, jos niiden vaihtaminen on yksinkertaista. Ryhmävaihto on puolestaan suositeltavaa, jos lamppujen vaihto on hankalaa, jos lamput ovat säädinkäytössä tai erot vanhan ja uuden lampun välillä muuten ovat häiritseviä. /7/

Valaisimet voidaan sijoittaa niin, että niitä päästään helposti huoltamaan. Valokatteisissa tiloissa valaisimet kuitenkin usein joudutaan sijoittamaan usein niin, että niiden huoltaminen vaatii erityisjärjestelyjä. Valaisimien huotoon voidaan käyttää samoja huoltovälineitä, joita katteen huollossa käytetään. Mikäli valaisimet ovat sellaisessa paikassa, jonne on vaikea päästä, tai jonne pääsee hyvin harvoin (esimerkiksi katteen pesun yhteydessä), kannattaa valita sellaiset valonlähteet, joiden polttoaika on mahdollisimman pitkä. Huoltomahdollisuus voidaan järjestää myös niin, että valaisimet ovat siirrettäviä. Suurissa teollisuushalleissa on käytetty ratkaisua, jossa valaisimet on kiinnitetty kiskoihin. Kiskoja pitkin valaisimet voidaan vetää sopivaan paikkaan. Jos valaisimet on kiinnitetty valaisinvarteen, voidaan varsi varustaa nivelellä ja valitsemalla valaisimen ripustuspaikka siten, että vartta taivuttamalla päästään valaisimeen käsiksi.

### 3.4.5 Esimerkkejä keinovalaistuksen toteuttamisesta

#### 3.4.5.1 Koskikeskus, Tampere

Koskikeskus on kevättalvella 1988 Tampereen keskustaan valmistunut liikekeskus. Sen valokatteiset tilat koostuvat kolmesta "mutterista": kahdesta pääsisäänkäynnin yhteydessä olevasta pienemmästä aulasta ja yhdestä isosta keskusaulasta. Pienemmät aulat ovat halkaisijaltaan 24 m ja korkeudeltaan 14 m. Iso aula on halkaisijaltaan 24 m ja ulottuun aina 24 m korkeuteen. Mutterien kattojen reunaosat ovat valoaläpäiseviä. Pääosan valaistuksesta huolehtivat keskelle katetta sijoitetut teollisuusvalaisimet, joissa käytetään isommassa tilassa 400 W ja pienemmissä 250 W monimetallilamppuja. Näiden tuottamaa valaistusta täydentävät seinään kiinnitetyt erikoisvalonheittimet. Katetta on valaistu katteen reunalta ylöspäin suunnatuin valonheittimin. Kävelyterasseilla ja aulojen seinillä on käytetty ulkonäöltään yhteensopivia pylväs- ja seinävalaisimia, joita on myös auloja yhdistävillä kauppakäytävillä. Valokatteisten tilojen valaistusta ohjataan automaattisest kahdessa vaiheessa siten, että ensin syttyvät pylväs- ja seinävalaisimet ja sitten muu valaistus. /75/

Kauppakeskuksen ilme on miellyttävä. Teollisuusvalaisimiin ja valonheittämiin

perustuva valaistus on osattu tehdä valaisinvalintaan nähden siististi ja valaisimet on osattu sijoittaa niin, etteivät suuritehoiset monimetallilampun aiheuta häikäisyä. Päivänvalo on otettu huomioon valaistuksen ohjauksessa, mutta varsinaiseen päivänvalon hyödyntämiseen ei ole tähdätty. Katetta valaisevat valonheittimet on sijoitettu "piiloon" ilmastointikanavien hyllyjen taakse, josta ne kuitenkin loistavat kirkkaasti heijastuksina peilimäisesti heijastavasta lasikatteesta.



Kuva 3.14 Koskikeskuksen keskusaulan valaistusta.

#### 3.4.5.2 Helsinki-Vantaan lentoasema

Helsinki-Vantaan lentoasema on rakennettu kahdessa osassa; niinkutsuttu vanha puoli 1960-luvun lopussa ja uusi puoli 1980-luvun alussa. Terminaalin 9...12 m korkeiden, lasiseinäisten aulojen valaistusta ohjataan päivänvalon mukaan jatkuvasti. Auloja on rakennuksen kummallakin pitkällä julkisivulla siten, että lasiseinät aukeavat itään ja länteen. Rakennus jakautuu uuteen ja vanhaan puoleen siten, että



kummassakin osassa on sekä itään että länteen avautuva seinä. Valonlähteinä on käytetty 110 ja 230 W halogeenilamppuja. Valaisimet on upotettu kattoon. Vanhan puolen valaistusta ohjataan yhdellä anturilla, joka on sijoitettu lännenpuoleiseen aulaan. Uuden puolen valaistusta ohjaa kolme valoanturia: yksi idänpuoleista ja kaksi lännenpuoleista aulaa. Lännessä valaisimet on jaettu ikkunan viereisiin ja sisäosan valaisimiin. Valaistusvoimakkuudelle ei ole asetettu tiettyä luksitavoitetta, vaan kynnysvalaistusvoimakkuutta säädetään näppituntumalla tarpeen vaatiessa muuttaen. Lamppujen eliniän pidentämiseksi on niille säädetty maksimiteho, joka on alle nimellistehon. Valaistuksen säädöllä on tavoiteltu energiansäästöjä ja halogeenilamppujen eliniän pidentämistä.

Valaistusjärjestelmän ongelmakohdaksi on lentoasemalla koettu valoanturien sijoittaminen siten, että säätö toimisi oikein. Valoanturit on sijoitettu kolmen, neljän metrin korkeuteen osoittamaan ylöspäin. Suurimmat ongelmat on vanhalla puolella, jossa yksi valokenno ohjaa sekä idän- että lännenpuoleista valaistusta. Vuorokaudenajasta riippuen aina toinen puoli on liian hämärä. Antureita häiritsevät myös heijastukset lasiseinien ulkopuolelle pysäköivistä suurista valkokylkisistä lentokoneista. Tällöin valot himmenevät vaikka päivänvaloa ei koko tilassa ole riittävästi. Antureiden sijoituspaikkaa on vaihdettu useasti, mutta sopivia paikkoja ei tunnu löytyvän. Vähäisten valoantureiden vuoksi valaistustulos on epätasainen ja valaistusvoimakkuudet paikoin alle 50 lx. Lasiseinästä näkyvää taivas lisää kontrastia saaden tilan näyttämään paikoittain todella pimeältä.

VTT:n tekemistä valaisimien tehonkulutuksen mittauksista näkee, että lamppujen tehot säätyvät jyrkästi täydeltä teholta nollateholle ja päinvastoin. Jatkuva säätämistä ei juuri tarvita vaan yksinkertaisella päälle/pois -säädöllä olisi päästy lähes samaan säätötulokseen.

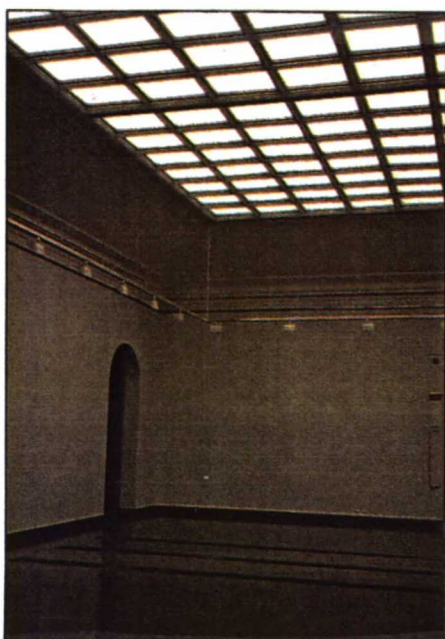
/76/

### 3.4.5.3 Ateneumin taidemuseo

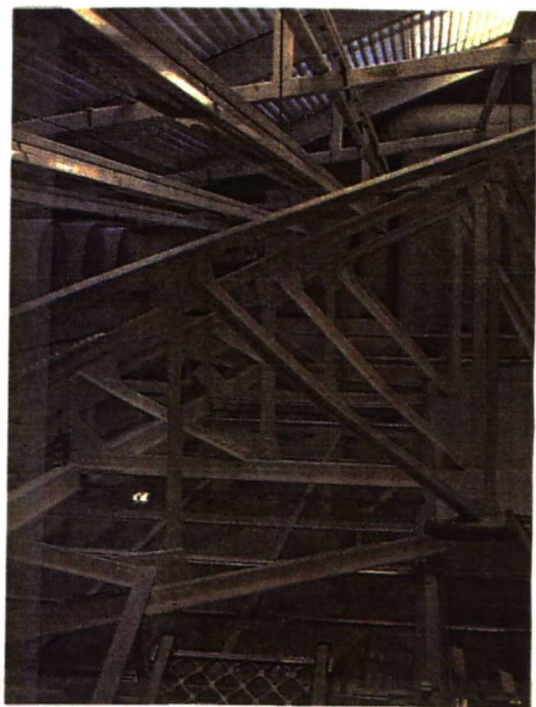
Ateneumin taidemuseon valokatteisissa näyttämötiloissa on toteutettu sekä päivänvalon, että keinovalon säätäminen tavoitteena valaistusolosuhteiden hallinta niin päivänvalon kuin keinovalonkin osalta. Valokate on kaksiosainen. Se koostuu vinosta, läpinäkyvästä vesikaton katteesta sekä himmeästä vesikaton alapuolisesta katteesta (kuva 3.15) Sekä päivänvalon että keinovalon ohjauslaitteistot sijaitsevat katteiden välissä.

Katteiden väliin sijoitettu valoanturi ohjaa päivänvaloa säätäviä, moottoriohjattuja suurilamellisia sälekaihtimia sekä jatkuvasti säätäviä 58 W loistelamppuja siten, että näyttämötilassa yleisvalaistuksen valaistusvoimakkuus pysyy 100 ja 150 lx välissä. Mikäli päivänvaloa on liikaa, sälekaihtimia suljetaan. Jos taas päivänvalo ei yksin riitä, sytytetään loistelamput. Loistelampuissa on 30 sekunnin hidastus lamppuja

sytytettäessä ja 20 sekunnin hidastus niitä sammutettaessa. Järjestelmä on myös manuaalisesti ohjattavissa. Säätymistä ohjataan lisäksi ennalta määrätyn, lähinnä museon aukioloaikoja noudattavan vuorokausirytmien mukaan.



(a)



(b)

Kuva 3.15 Ateneumin valokate (a) näyttämöhallista ja (b) vesikaton ja välikaton välistä nähtynä. /77/

Valaisimet on ripustettu valaisinripustuskiskoissa himmeälasisen sisäkaton yläpuolelle. Johdotuksia ei ole tarvinnut erityisesti piilottaa ja valaisimiksi on voitu valita yksinkertaiset teollisuusvalaisimet. Näyttämötilassa on erilliset kohdevalaisimet näyttämöesineitä varten.

/77/

Valonohjauksen motiivina on valaistusolosuhteiden hallinta siten, ettei yleisvalaistuksen valaistusvoimakkuus nouse näyttelytoimintaa ajatellen liian suureksi. Valonsäädöllä saavutettavat säästöt ovat siten toteutukselle toisarvoinen, eikä niitä ole tutkittu. Sijoittamalla valaisimet himmeän katteen yläpuolelle on valaistuksesta saatu huomaamaton ja valonlähteiden säädöstä häiritsemätön. Toisaalta himmeä katemateriaali hajoittaa katteen läpäisevän valon ja vähentää siten näyttelytilassa erittäin tärkeää varjonmuodostusta.



### 3.5 KEHITYSTARPEET JA MAHDOLLISUUDET

Päivänvalon säätöanalyysin lähtökohtana ovat valaistusvoimakkuudet ulkona. Koska valaistusvoimakkuuksia ei Suomessa ole mitattu, perustuu koko analyysi karkeisiin säteilymittauksista johdettuihin arvioihin. Samoin nykyisten toteutusten toimivuuden seuranta tehdään aivan liian vähän. Seuranta tuottaisi arvokasta tietoa uusien kohteiden suunnittelua ja laitteistojen kehitystarpeita varten.

Purkauslamppujen käyttäminen yleisvalaistuksen valonlähteinä rajaa säätömahdollisuudet valokatteisissa tiloissa yleensä portaittaisiin säätöihin. Paikallisvalaistuksessa, matalissa valokatteisissa tiloissa ja valokatteisiin tiloihin liittyvissä tiloissa käytetään valonlähteitä, jotka olisivat jatkuvasti säädettäviä. Jatkuvan säädön toteuttamisen esteeksi tulevat kalliit investoinnit. Jotta jatkuva säätäminen yleistyisi, tulisi järjestelmien kustannusten laskea huomattavasti. Kustannusten laskiessa voitaisiin samalla siirtyä pienempiin säätöalueisiin, jolloin päivänvalon hyötykäyttö tehostuu ja valaistustilanteen hallinta paranee. ORNOn Sensa-valaisin on esimerkki pienimmästä mahdollisesta säätöalueesta. Jokaisessa valaisimessa on oma valoanturinsa, joka säätää valaisimen valontuottoa. /78/ Vastaavanlainen ennakoluuloton tuotekehitys on tarpeellista, mutta ei vielä riittävää. Sen lisäksi tarvitaan ennakoluulottomia uusien laitteiden ja toteutustapojen käyttäjiä. Suunnittelun on oltava äärimmäisen huolellista, jotta epäonnistuneilta toteutuksilta välttyttäisiin. Epäonnistuneetkin yritykset kyllä opettavat, mutta toisaalta ne synnyttävät yhä uusia ennakoluuloisia ja tuomitsevia asenteita.

Merkittävä kevyysmahdollisuus valokatteisten tilojen valaistuksessa on valaisimien kohdalla. Nykyisin perusvalaistukseen käytetään lähes yksinomaan valonheittämiä ja kohdevalaisimia. Valaisinvalokoiman laajenemiseen ovat valaisinvalmistajien lisäksi vaikuttamassa valaistussuunnittelijat ja arkkitehdit. Tavoitteena olisi korkean tilan valaisin, jota voi katsella ja joka ei toisaalta estä katselemista aiheuttamalla häikäisyä. Suuritehoisen purkauslamppun näkyminen valaisimesta aiheuttaa lähes väistämättä häikäisyä, joten valonlähteen näkyminen tulisi valaisimissa estää.

### 3.6 YHTEENVETO

Päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytöllä tarkoitetaan keinovalon säätämistä saatavilla olevan päivänvalon mukaan. Säätäminen on edellytyksenä päivänvalon avulla saavutettaville valaistusenergian säästöille. Säätötapoja ovat päälle/pois-, portaittainen sekä jatkuva säätö. Säätötavan valinta perustuu tilan päivänvaloanalyysiin, joka käsittää päivänvalon saatavuuden ja tilaan jakautumisen määrittämisen sekä tilan jakamisen säätöalueisiin. Päivänvalon saatavuuden määrittämiseksi tarvitaan mitatut tai lasketut päivänvalon ulos tuottamat



valaistusvoimakkuudet. Päivänvalon jakautuminen tilaan tulisi laskea ainakin kirkkaan ja pilvisen taivaan olosuhteissa sellaisina aikoina, joiden avulla voidaan ennustaa päivänvalon saatavuutta koko vuoden aikana. Päivänvalon jakautumien avulla jaetaan tila valoantureiden ohjaamiin säätöalueisiin, joiden sisällä säätötapa on yhtenäinen. Säätöalueisiin jakaminen ja mittauspisteen valitseminen kultakin säätöalueelta ovat toteutuksen onnistumisen kannalta kriittisimpiä valintoja. Mitä pienempiin säätöalueisiin tila jaetaan, sitä parempaan valaistuksen hallintaa päästään. Toisaalta on turha kasvattaa säätöalueiden lukumäärää ja samalla investointien kustannuksia, jos laajemmilla alueilla päästään yhtä hyvään tulokseen.

Kullakin säätöalueella tehdään säätötapojen vertailu, jonka perusteella valitaan alueelle parhaiten soveltuva säätötapa. Säätötapojen hyvyttä mitataan päivänvalon käytettävyysherroimen, PVK, avulla. Päivänvalon käytettävyysherroin on se osa tilan käyttöajasta, jona päivänvaloa pystyy joko kokonaan tai osittain korvaamaan keinovalon. PVK:n avulla voidaan laskea kunkin säätötavan energiankulutus ja -säästö verrattuna säätämättömään ratkaisuun. Lopulliseen säätöstrategian valintaan vaikuttavat kokonaiskustannukset suhteessa saavutettaviin säästöihin.

Valonlähteen valinta voi rajoittaa käytettävissä olevat säätötavat tai säätötavan valinta voi rajoittaa käytettävissä olevat valonlähteet riippuen suunnittelukohteesta. Jos tarvitaan suuria valonlähteyksiköitä ja päädytään purkauslamppujen käyttämiseen, voidaan valita vain päälle/pois- tai portaittainen säätö. Jos tila ei rajoita käytettävissä olevia valonlähteitä voidaan valonlähde valita sopivan säätötavan vaatimuksista. Valonlähteen valinnassa ratkaisee lisäksi päivänvalon ja keinovalon yhteiskäyttö. Mikäli keinovaloa käytetään suurimman osan päivää yhdistämällä päivänvaloa ja keinovaloa, on valonlähteen väriominaisuuksien sovittava yhteen päivänvalon kanssa. Jos taas keinovalon pääasiallinen käyttöaika on silloin, kun päivänvaloa ei ole lainkaan käytettävissä, voidaan valonlähde valita vapaammin.

Valokatteisen tilan valaistus toteutetaan useimmiten valonheittimillä, jotka sijoitetaan korkealle kattoeseen tai seiniin. Muitakin sijoituspaikkoja valaisimille useimmiten löytyy ja niitä tulisikin käyttää hyväksi. Korkealta toteutetun valaistuksen vaikeutena on häikäisyn hallinta. Katteen keskellä, mustaa taivasta vasten valonlähteet näkyvät häiritsevän kirkkaina valopisteinä. Valaisimien tuominen alas, sinne missä valoa tarvitaan helpottaa valaistussuunnittelua. Pelkkä matalalla sijaitseva valaistus jättää tilan muut osat pimentoon. Siksi on hyvä sijoittaa jonkin verran valoa tilan yläosiinkin. Valokatteisiin soveltuvia valaisimia on valaisinvalikoimissa vain muutamia.

Mikäli mahdollista, valaistus tulisi aina toteuttaa siten, ettei valaisimien huoltaminen vaadi erityisjärjestelyjä. Tähän voidaan vaikuttaa sijoittamalla valaisimet



helppopääsyisiin paikkoihin tai katteen huoltolaitteistojen ulottuville, tekemällä valaisinsijoittelu liikkuvaksi esimerkiksi kiskostojen avulla tai sijoittamalla valaisimet taipuvaan valaisinvarteen. Jos valaisin kaikesta huolimatta on vaikeasti tavoitettavissa, tulisi valonlähteiksi valita pitkäikäisiä valonlähteitä.

## 4 ERILAISTEN VALOKATTEISTEN TILOJEN VALAISTUS

Luvussa 3.1 esitetyt valaistusvaatimukset koskevat kaikkia valokatteisia tiloja. Tässä luvussa on käsitelty erityyppisten valokatteisten tilojen erityisvaatimuksia niin päivänvalon kuin keinovalonkin kannalta.

### 4.1 MYYMÄLÄT

Valokate tai kattoikkunat sopivat mataliin, yksikerroksisiin tavarataloihin, ylimpiin kerroksiin tai useampikerroksisiin myymälärakennuksiin, jotka ovat korkeussuuntaan avoimia. Myymälätiloihin päivänvalo sopii hyvin, koska valon hyvä värintoisto on näissä tiloissa tärkeä. Suoran auringonvalon pääseminen myymälätiloihin on estettävä alueilla, joilla myydään UV-säteilystä vahingoittuvia tekstiilejä tai paperitavaraa. Jotteivät päivänvalon värintoist ominaisuudet muuttuisi, on katemateriaalina syytä käyttää värittömiä materiaaleja. Päivänvalon jakamiseksi tasaisesti valaistavaan myymälätilaan voidaan katteessa käyttää läpinäkymättömiä, diffuusisti valoa hajoittavia materiaaleja.

Päivänvalo sopii myymälätiloissa yleisvaloksi. Yleisvalaistukseen käytettävän keinovalon valonlähteiden tulee olla päivänvalon sävyisiä. Hylly- ja muu kohdevalaistus toteutetaan keinovalaistuksen avulla. Kohdevalaistuksen valonlähteiden väriominaisuudet sovitetaan valaistavaan kohteeseen. Säästömahdollisuudet päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytöstä ovat suuret, koska myymälöiden käyttäjät keskittyvät vuorokauden valoisiin aikoihin. Säästötapoina sopivat sekä portaittainen että jatkuva säätö. Portaittaisessa säädössä eri portaiden välinen valaistusvoimakkuusero on sovitettava sellaiseksi, ettei aiheudu pimeyden tunnetta keinovalaistusta vähennettäessä. Sopiva portaiden välinen valaistusvoimakkuusero riippuu valaistusvoimakkuuksien suhteesta kuvan 3.6 mukaisesti.

### 4.2 VALOKATTEISET AULAT

Oleskelu- ja odotustiloina sekä läpikulkutiloina valokatteisia tiloja on muunmuassa liikekeskuksissa, rautatie- ja linja-autoasemilla, lentokentillä, laivaterminaaleissa, hotelleissa, ravintoloissa, teattereissa, asuintaloissa, pankeissa, virastoissa ja muissa julkisissa toimistotaloissa. Tällaisissa tiloissa valaistuksen kannalta on selkeä varjonmuodostus tärkeä viihtyvyyden luomiseksi. Katemateriaaliksi sopivat siten läpinäkyvät materiaalit, jotka eivät sanottavasti hajoita läpikulkevia valonsäteitä vaan valon suunta säilyy. Suoran auringonvalon aiheuttama häikäisy ei yleensä aiheuta hankaluuksia, koska tarpeen mukaan voi paikkaa vaihtaa ja katsesuuntaa muuttaa niin, ettei häikäisyä aiheudu. Suoran auringonvalon aiheuttama lämpeneminen on suurempi ongelma. Liikalämpenemiseltä suojautuminen on tehokkaampaa, mikäli se otetaan



huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Liikalämpenemisen estämiseksi voidaan katteessa käyttää lämpölaseja ja -muoveja ja tarvittaessa aurinkosuoja. Aurinkosuojien huonona puolena on näköyhteyden häviäminen ulko- ja sisätilan välillä. Näköyhteydellä on merkitystä lähinnä lasiseinäisissä tiloissa.

Myös keinovalolla täytyy olla päivänvalon tapaan suunta varjonmuodostuksen aikaansaamiseksi. Ravintoloissa ja muissa tiloissa, joita käytetään pääosin iltaisin, on hyvä valita valonlähteistä ainakin osa lämminsävyisiksi kodikasta iltatunnelmaa luomaan. Sekä päivällä että ilalla käytettävissä rakennuksissa voitaisiin ajatella jopa kahden erilaisen valaistusratkaisun käyttämistä. Päivällä valo voitaisiin tuoda päivänvalon tapaan ylhäältä alaspäin päivänvalon värisävyä vastaavin valonlähtein. Illalla valo voitaisiin keskittää alas, sinne, missä toiminta tapahtuu samalla iltamiljööön asettamat vaatimukset huomioiden.

Päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytössä voidaan soveltaa kaikkia säätötapoja, mutta useimmiten kannattavimmaksi tulee päälle/pois -säätö. Näin siksi, että päivänvalon tuottamat valaistusvoimakkuudet ylittävät vaadittavan vähimmäisvalaistusvoimakkuuden suurimman osan päivästä ja yksinkertaisella, karkealla säätötavalla saavutetaan lähes yhtäsuuret säätöt kuin tehokkaammallakin säätötavalla. Mikäli keinovalonlähteinä käytetään purkauslamppuja, ei jatkuvaa säätöä voida käyttää.

### 4.3 SISÄPIHA

Sisäpihalla toiminta on samankaltaista kuin ulkona. Kattamalla alue on haluttu suojautua sään vaikutuksilta; kunnossapito helpottuu ja tilan käyttömahdollisuudet kasvavat. Sisäpiha voi olla rakennukseen alunperin rakennettu tai valokate voi olla myöhemmin lisätty esimerkiksi kahden rakennuksen välille. Keinovalon osalta sisäpiha ajatellaan useimmiten ulkotilana ja valaistus suunnitellaan ulkovalaistussuosituksen mukaisesti. Pääpaino valaistusvaatimuksissa asettuu siten liikkumisen ja vastaantulevien ihmisten tunnistamiselle. Monesti jo olemassaolleen sisäpihan valaistus jätetään samanlaiseksi, kuin se oli ennen alueen kattamista. Jos sisäpihan käyttötarkoitusta kattamisen jälkeen muutetaan, on valaistus suunnitelta käyttötarkoituksen sanelemin ehdoin. Mikäli katettu sisäpiha liittyy seinäikkunoiden kautta esimerkiksi asuinhuoneistoihin, on pihan valaisuksella varottava aiheuttamasta häiriötä näiden asukkaille.

### 4.4 VALOKATTEINEN TILA TYÖTILANA

Monissa valokatteisissa tiloissa esimerkiksi hotelleissa, kahviloissa ja joukkoliikenneasemilla on kiinteitä työpisteitä. Tällaisissa tiloissa tulisi kiinnittää erityistä huomiota tilan luminanssijakautumaan. Valokatteisessa tilassa syntyy eri osien välille helposti suuria luminanssieroja, joihin työntekijän silmien täytyy jatkuvasti sopeutua. Luminanssierojen merkittävin aiheuttaja on suora



aurionvalo, mutta ongelmallisia ovat myös valoa läpäisevän pinnan kautta näkyvä kirkas taivas tai muu ympäristö. Suurten luminanssierojen syntyminen voidaan estää tilan pintojen yhtenäisellä vaaleusasteella tai valitsemalla läpinäkymätön katemateriaali. Katsesuunnan valitseminen sopivasti on yksinkertaisin häikäisynestokeino.

Sekä yleisvalaistusta, että työvalaistusta voidaan kontrolloida käytettävissä olevan päivänvalon mukaisesti. Yleisvalo voi olla portaittaisesti säädetty, mutta mikäli työpisteiden valaistusta säädetään, tulisi se tehdä pieniä portaita käyttäen tai jatkuvasti säädön aiheuttaman häiritsevyyden ehkäisemiseksi. Mikäli yleisvalaistuksen valonlähteinä käytetään suuritehoisia valonlähteitä, on ne sijoitettava ja suunnattava tai tarpeen mukaan suojattava niin, etteivät ne näy työpisteisiin.

## 4.5 KYLPYLÄT JA UIMAHALLIT

Kylpylät ja uimahallit poikkeavat muista valokatteisista tiloista siinä mielessä, että niissä suora auringonvalo ja ruskettava UV-säteily ovat yleensä toivottuja. Katemateriaalina voidaan käyttää UV-säteilyä läpäisevää materiaalia. Esimerkiksi Länsi-Saksassa kehitetty Sanalux-lasi läpäisee UVA-säteilyn lähes täydellisesti ja UV-B-säteilyn 30 %:sti. /79/ Sähkölämmitteisellä lasilla voidaan estää veden kondensoituminen ikkunapintaan ja suurten lasipintojen aiheuttama veto ikkunan läheisyydessä. Keinovalolähteiden on hyvä olla lämpimän sävyisiä. Kylmän sävyinen valo lisää kylmyyden tunnetta, joka aiheutuu veden haihtumisesta kostealta iholta. /80/

Valaistuksen yhtenä tärkeänä tehtävänä kylpylöissä ja uimahalleissa on edesauttaa komiulotteista näkemistä. Epäsuora valaistus ei siten yksinomaan sovellu valaistustavaksi. Jos epäsuoraa valaistusta käytetään, on valaistukseen lisättävä suora komponentti, joka huolehtii varjonmuodostuksesta. Epäsuoraa valaistusta vastaa valokatteessa läpinäkymätön, diffuusisti valoa hajoittava katemateriaali; valo hajoaa tasaisesti joka puolelle, varjoja ei synny ja muodot latistuvat.

## 4.6 SAIRAALAT

Sairaaloissa ja muissa terveyslaitoksissa, päivänvalon psykologisilla vaikutuksilla on erityistä merkitystä. Potilashuoneisiin ja oleskelutiloihin tuodaan päivänvaloa yleensä sivuikkunoiden kautta, mutta vasinkin oleskelutiloissa voitaisiin käyttää myös valokatteita. Häikäisyyn on potilashuoneiden valaistuksessa kiinnitettävä erityistä huomiota, koska näissä on myös potilaita, joiden silmät saattavat olla erityisen herkkiä tai jotka eivät voi liikkua. Suora auringonvalon pääseminen potilastiloihin onkin estettävä. Huoneisiin, joissa suoritetaan hoitotoimenpiteitä,



tutkimuksia ja operaatioita, vaaditaan hyvää valaistuksen hallintaa. Tällaisiin tiloihin ei päivänvalo alituisine vaihteluineen sovi.

#### 4.7 MUSEOT, TAIDEGALLERIAT

Museoissa ja taidegallerioissa on suojauduttava päivänvalon sisältämältä UV- ja IR-säteilyltä näiden värivaikutusten ja paperin ja muovin haurastumisen vuoksi. Vaikka päivänvalosta suodatettaisiinkin vahingolliset aallonpituudet pois, voi se vaurioittaa välillisesti esineitä; päivänvalon tuottamat valaistusvoimakkuudet ovat suuria ja kohteet on siksi valaistava voimakkaalla keinovalolla, jotta ne erottuisivat ympäristöstään. Suuret säteilymäärät sisältävät paljon vahingoittavia aallonpituuksia vaikka vahingoittavien aallonpituuksien suhteellinen osuus olisikin pieni. Usein on helpompaa sulkea päivänvalo kokonaan pois tällaisista tiloista kuin suojautua vaurioita aiheuttavaa säteilyä vastaan.

Valon suuntaus on tärkeää tiloissa, joissa on kolmiulotteista taidetta kuten veistoksia ja patsaita. Päivänvalon suunta vaihtelee vuorokauden- ja vuodenaja mukaan, mikä on otettava näytteillepanossa huomioon. Valoa hajottavat katemateriaalit hävittävät varjot pahimmassa tapauksessa kokonaan. Taideteosten muotojen esittämisessä on tällöin turvauduttava keinovaloon ja tarpeettoman suuriin valaistustehoihin.

Halogeenilamput ovat museoissa ja taidegallerioissa suosittuja valonlähteitä. Halogeenilamppujen runsas UV-säteily tulee suodatta UV-suotimien avulla. Värintoisto-ominaisuuksiltaan päivänvalo olisi erinomainen valonlähde taideteosten ja museoesineiden valaisemiseen. Kohdevalaistuksen toteuttaminen päivänvalon avulla on mahdollista, mutta hankala toteuttaa. /22/

#### 4.8 VIEREISET TILAT

Usein valokatteiseen tilaan liittyy huoneita sivuikkunoiden kautta. Sivuikkunoiden kautta saadaan luonnonvaloa rakennuksen keskelle huoneisiin, joilla ei ole yhteyttä rakennuksen julkisivuun. Ikkunat voivat olla isompia ja rakenteeltaan keveämpiä kuin julkisivun ikkunat, varsinkin jos valokatteinen tila on lämmin tila. Päivänvalon jakautumista huoneessa voidaan parantaa esimerkiksi valohyllyjen avulla. Aurinkosuojausta tarvitaan yleensä vain rakennuksen ylimmissä kerroksissa tai jos valokatteisessa tilassa katteen lisäksi osa seinistä on valoa läpäiseviä. Jos aurinkosuojausta tarvitaan, voidaan suojauskeinoina käyttää tehokkaita ikkunan ulkopuolisia suoja sään vaikutusten vaikeuttamatta niiden käyttöä.

Päivänvalon ja keinovalon yhdistämistä ja varsinkin jatkuvaa säätöä on tutkittu kaikkein eniten toimistohuoneissa. Syynä kiinnostukseen ovat valaistuksen suuri osuus toimistorakennusten sähkönkulutuksesta ja toimistojen käyttöajat, jotka

keskittyvät valoisein vuorokauden tunteihin. Yleensä päivänvalo tuodaan toimistohuoneisiin siviikkunoiden kautta ja tilan päivänvalosuhteet jäävät muutamaa prosenttiin. Tällöin jatkuva säätö voi olla ainut säätötapa, jolla voidaan saavuttaa merkittäviä valaistusenergian säästöjä. Päivänvalosuhteen alhaisuudesta johtuen keinovaloa joudutaan käyttämään päiväsaikaan ja siksi valonlähtieden tulisi olla päivänvalon kaltaista. Toimistojen valaistusvoimakkuudet ovat yleensä niin suuria, etteivät kylmänsävyiset valonlähteet aiheuta luonnottoman kylmää valaistusvaikutelmaa (taulukko 3.1).

Nykyisin toimistotyöskentelyyn kuuluu lähes poikkeuksetta näyttöpäätetyöskentely. Tiloissa, joissa on valoaläpäiseviä pintoja katossa tai seinissä on näyttöpäätetyöskentelyn järjestäminen näkömukavuuden kannalta hyväksi varsin hankalaa. Valoa läpäisevät pinnat heijastuvat näyttöpäätteen ruudusta, jos pintoja jää näyttöpäätteen etupuolelle. Jos taas valoaläpäisevä pinta on katsekentässä näyttöpäätteellä työskenneltäessä, rasittuvat silmät päätteen ja taustan välisestä luminanssierosta. Valohyllyt ja muut vastaavat päivänvaloa ohjaavat laitteet aiheuttavat kattoon suuria luminansseja, jotka myös voivat näkyä häiritsevästi päätteeltä. Valoaläpäisevien pintojen pimentäminen helpottaa päätteen sijoittamista, mutta päivänvalon hyötykäyttö onkin sitten mahdotonta.

#### 4.9 TEOLLISUUSTILAT, VARASTOT

Vanhat teollisuushallit ja varastot on usein suunniteltu siten, että niihin saadaan kattoikkunoiden kautta runsaasti päivänvaloa. Yksikerroksisissa rakennuksissa kattoikkunat päivänvalonlähteinä ovat mahdollista. Teollisuushalleissa ikkunoiden likaantuminen on yleensä nopeaa. Jotta ikkunat puhdistettaisiin riittävän usein, olisi ne suunniteltava siten, että puhdistaminen olisi helppoa, nopeaa ja edullista.

Sellaisissa varastoissa ja teollisuushalleissa, joissa valaistusvoimakkuudet ovat alhaisia, voidaan päivänvaloa hyödyntämällä säästää suuri osa valaistukseen kuluva energiasta. Keinovalonlähteinä teollisuustiloissa ja varastoissa käytetään loistelamppuja ja varsinkin korkeissa tiloissa purkauslamppuja. Loistelamppujen säätömahdollisuudet ovat hyvät ja purkauslamppujen huonot.



## 5 SOVELLUSESIMERKKINÄ OLEVAN VALOKATTEISEN LIIKEKESKUKSEN VALAISTUS

### 5.1 KÄSITELTÄVÄT TILAT

Sovellusesimerkkinä käytetään Vantaan Myyrmäkeen rakennettavaa Mega-Myyri -nimistä liikekeskusta. Liikekeskus näkyy aluekuvasta liitteessä 5. Liikekeskuksen läpi kulkee pohjois-eteläsuunnassa lasikatteinen kauppakäytävä. Lasikäytävän lisäksi luonnonvaloa on runsaasti kauppakäytävään liittyvässä lasiseinäisessä sylinterissä. Liitteissä 6, 7 ja 8 on pohjapiirustukset Mega-Myyrin eri kerroksista. Liitteissä 9 on näkymä kauppakäytävästä ja liitteessä 10 sylinterin muotoisesta aulasta. Kuvien katselupaikat ja -suunnat on merkitty pohjakuvaan liitteeseen 7.

Kauppakäytävän kaksi ensimmäistä kerrosta ovat liikekerroksia. Toisessa kerroksessa kulkee käytävän länsipuolella kävelyterassi. Kävelykatu voidaan ylittää toisessa kerroksessa neljän sillan kautta. Liitteessä 7 olevassa pohjapiirustuksessa on viisi kävelykadun ylittävää siltaa. Näistä eteläisin on jätetty huomioimatta, koska se on jätetty pois seuraavassa luonnosvaiheessa. Kauppakäytävän länsireunalla on kolmannessa, neljännessä ja viidennessä kerroksessa toimistotiloja, joiden ikkunat aukeavat käytävään. Käytävän päällä on 30° kulmassa itään suuntautuva lasikate. Katteen lasina on laskelmissa käytetty kaksinkertaista katerakennetta, jossa on yksi vihreä 6 mm:n Antisun-lasi ja yksi kirkas lasi. Rakenteen valonläpäisy on 0,63 ja heijastus on 0,1. Rakenteen k-arvo on 3,0 W/m<sup>2</sup>K. Käytävä koostuu kahdesta osasta, joista etelänpuoleinen on 25,5 m ja pohjoispuoleinen 90 m pitkä. Käytävän leveys on 12,5 m. Käytävä on länsiseinustalta 21,6 m ja itäseinustalta 14,1 m korkuinen. Pohjoisessa käytävässä on itäseinustalla lähes koko käytävän pituinen kalteva, läpinäkymätön seinä. Käytävän keskelle tulee suuria viherkasveja.

Sylinterinmuotoisessa aulassa on lasiseinä itään kolmannen kerroksen korkeudelta ylöspäin. Länsiseinustalla on toimistokerroksia kolmannessa, neljännessä ja viidennessä kerroksessa. Kaikissa kerroksissa on avoimet terassit aulan reunoilla. Aulan katto on läpinäkymätön, tumma ja alaspäin kupera. Katon keskellä on katon läpäisevä kartio, joka on katon ylittävältä osaltaan lasia. Sylinterin rakenne selviää parhaiten liitteessä 11 olevasta kauppakäytävän suuntaisesta pitkittäisleikkauksesta. Sylinterin halkaisija on 21,5 m ja korkeus 22...25,8 m.

Valokatteisten tilojen käyttöajaksi on arvioitu kello kahdeksasta aamulla kello kahteenkymmeneen illalla.

## 5.2 VALAISTUSSUOSITUKSET

Tilan valaistuksen suunnitteluohjeiksi voidaan ottaa Suomen Valoteknillisen Seuran Sisävalaistussuosituksista Myymälöiden ja tavaratalojen liikkumatiloja koskevat suositukset, jotka suosittelevat seuraavaa:

- lämmin- tai neutraalinsävyisiä valonlähteitä, jotka ovat värintoistoluokista 1B, 2 tai 3.
- valaistusvoimakkuudeksi normaalitilanteessa 200 lx. Suunnittelun lähtökohdaksi voitaisiin ottaa myös valaistussuosituksien suosittama pienempi valaistusvoimakkuusarvo, 150 lx, koska kyseisessä tilassa on runsaasti päivänvaloa saatavana eivätkä näkötehtävän suorittamisen tarkkuus ja nopeus ole tilassa tärkeitä. Valaistusvoimakkuudeksi valitaan kuitenkin 200 lx, koska tilaa käyttävät myös vanhat ja heikkonäköiset ihmiset ja koska suuret valaistusvoimakkuuserot kauppakäytävän ja voimakkaasti valaistujen liikkeiden välillä saattavat aiheuttaa häikäisyä tai pimeyden tunnetta siirryttäessä tilasta toiseen. Valaistusvoimakkuus mitataan työtasolta, jonka tässä oletetaan olevan 80 cm:n korkeudessa.
- häikäisyindeksiksi suositellaan korkeintaan 19
- myymälöiden liikkumatioloissa vaaditaan valaistukselta hyvä muodonanto ja varjonmuodostus, valaistusvoimakkuuden pystypinnoilla on oltava hyvä.

/7/

## 5.3 TILAN PÄIVÄNVALO-OLOSUHTEET

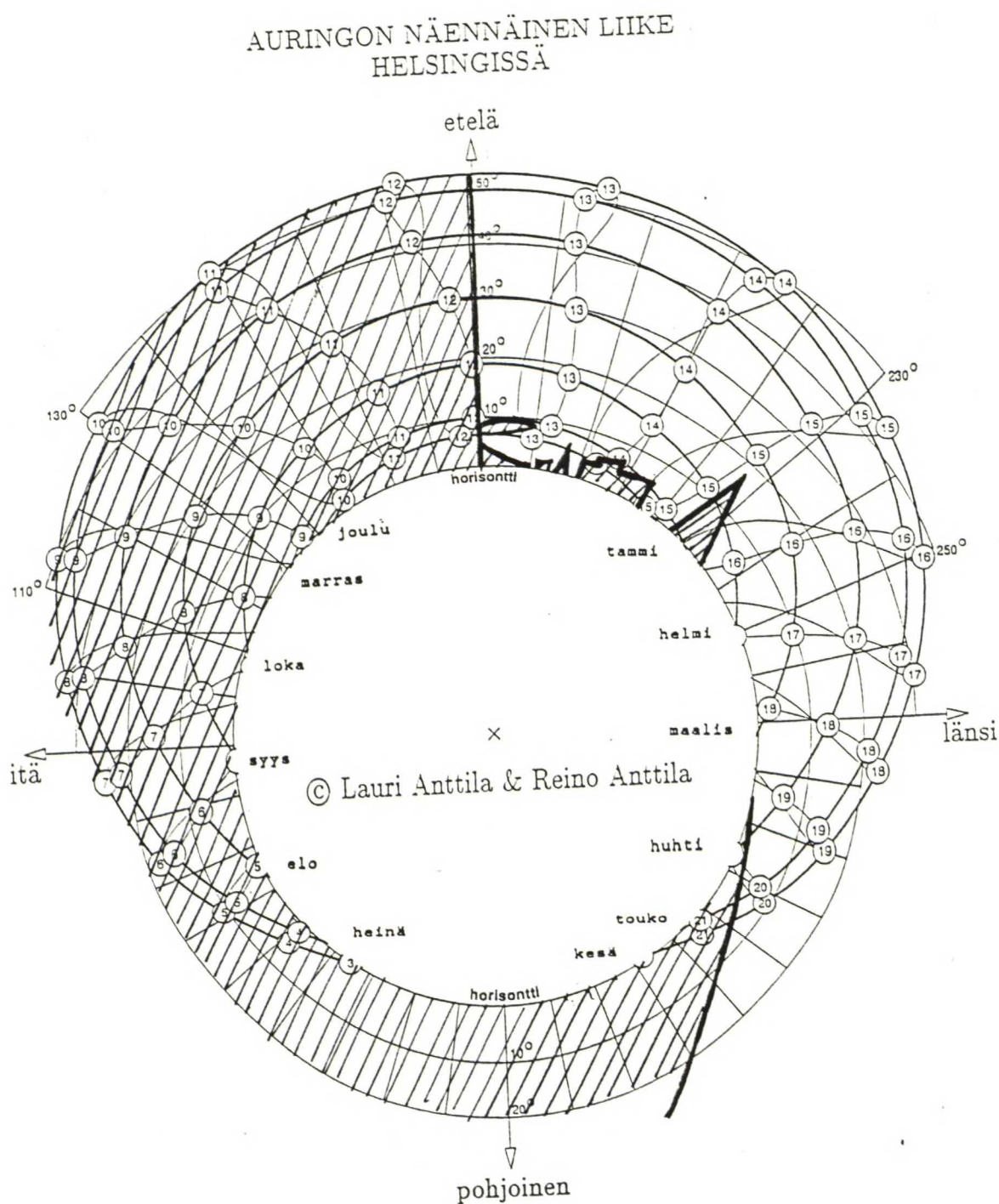
### 5.3.1 Auringon aiheuttama häikäisy

Suora auringonvalo saattaa aiheuttaa häiritsevää häikäisyä valokatteiseen käytävään liittyvissä toimistohuoneissa. Tarkastellaan tilannetta kolmannen kerroksen pohjoisenpuolimmaisesta ikkunasta, jonne aurinko pääsee esteettömimmin paistamaan. Käsitelty ikkuna on merkitty liitteeseen 11. Kuvassa 5.1 on liitteen 1 auringonkulkukaaviosta varjostettu pois se osa taivaasta, joka ei näy käsiteltävästä ikkunasta. Varjostavia esteitä ovat sylinterin katto, käytävän eteläseinä, katolla sijaitsevat IV-konehuoneet ja kattoikkunalyhdyt.

Auringonpaiste ikkunaan alkaa aikaisimmillaan loka-marraskuussa noin kello 12.05 ja myöhäisimmillään heinäkuussa noin 13.25 (= kesäaika). Varjostavia esteitä on vähän. Ne varjostavat aurinkoa lähinnä marraskuun lopusta tammikuun loppuun. Näinä aikoina aurinko paistaa matalalta, ja sitä vastaan on hankala suojautua muuten



kuin peittämällä ikkuna kokonaan. Näköesteiden varjostus helpottaa siten tilannetta näinä suojauksen kannalta hankalina kuukausina. Muina kuukausina aurinko pääsee esteettä paistamaan ikkunaan.



Kuva 5.1 Häikäisysojauksen kannalta kriittisimmän toimistoikkunan näkymä taivaasta.

Aurinkosuojista lipat vähentäisivät kaikkein vähiten näkymää ikkunasta. Länteen suuntautuviin ikkunoissa suojaavat pystysuorat lipat paremmin kuin vaakasuorat. Ikkunan leveys on 1,25 m. 30 cm suoja varjostaa aurinko

$$\alpha = \arctan \frac{0,3}{1,25} = 13,5^\circ,$$

mikä siirtää auringon ikkunaan osumista vajaalla tunnilla. 70 cm suoja siirtää auringon osumista jo kahdella tunnilla, mutta alkaa olla niin iso, ettei sovi ulkonäköseikkojen vuoksi käytettäväksi. Keveät rulla- ja tekstiiliverhot suojaavat auringon aiheuttamalta häikäisyltä, mutta päästävät kuitenkin jonkin verran valoa lävitseen. Säädettyinä suojina ne ovat joustavia ja huoneen käyttäjä voi käyttää suojaa halutessaan. Koska verhot on edellisen lisäksi vielä helppo sovittaa ympäristöönsä sopiviksi ja huomaamattomiksi, ovat ne auringonsuojalippaa parempi vaihtoehto kyseisen tilan aurinkosuojaksi.

5.3.2 Valaistusvoimakkuus ulkona

Valaistusvoimakkuus ulkona on laskettu yhtälön 3 avulla Ilmatieteen laitoksen säteilyhavainnoista lähteessä 13. Säteilyhavaintojen kuukausien vuorokauden eri tuntien säteilysummista lasketaan kuukauden keskimääräinen säteily kullekin tunnille keskimääräisenä vuonna. Esimerkkinä on laskettu taulukossa 5.1 valaistusvoimakkuudet maaliskuussa Helsinki-Vantaan lentokentällä, joka on vajaan kymmenen kilometrin päässä Mega-Myyrin rakennuspaikasta. Yhtälössä 3 tarvittava suora säteily saadaan vähentämällä kokonaissäteilystä hajasäteily.

Taulukko 5.1 Päivänvalon tuottama valaistusvoimakkuus (E<sub>pv</sub>) vuorokauden valoisina tunteina maaliskuussa ilmatieteenlaitoksen säteilyhavaintojen perusteella laskettuna. Esimerkiksi E<sub>pv</sub> on maaliskuussa kello 10...11 keskimäärin 36 376 lx.

maaliskuu	hajasäteily	kokonaissäteily	suorasäteily	E <sub>pv</sub> / lx
kello	10 <sup>4</sup> Ws /m <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup> Ws /m <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup> Ws /m <sup>2</sup>	
5...6	3	4	1	50
6...7	146	195	49	2421
7...8	558	832	274	10089
8...9	1013	1674	661	19892
9...10	1458	2579	1121	30264
10...11	1708	3117	1409	36376
11...12	1879	3414	1535	39873
12...13	1870	3382	1512	39531
13...14	1744	3123	1379	36568
14...15	1357	2509	1152	29214
15...16	1004	1680	676	19916
16...17	534	847	313	10145
17...18	159	226	67	2768
18...19	7	9	2	113



Taulukossa 5.2 on samalla tavoin lasketut kesäkuun, syyskuun ja joulukuun valoisien tuntien valaistusvoimakkuudet. Kyseiset kuukaudet on valittu edustamaan kutakin vuodenaikaa.

Taulukko 5.2 Eri vuodenaikoja edustavien kuukausien valoisien tuntien keskimääräiset valaistusvoimakkuudet Epv.

kello	maaliskuu Epv / lx	kesäkuu Epv / lx	syyskuu Epv / lx	joulukuu Epv / lx
2...3	0	456	0	0
3...4	0	2724	0	0
4...5	0	9857	0	0
5...6	50	18522	704	0
6...7	2421	30957	5770	0
7...8	10089	41873	14139	0
8...9	19892	51630	23890	0
9...10	30264	62816	31428	1284
10...11	36376	71750	36471	4347
11...12	39873	70606	37536	6476
12...13	39531	69260	36466	6378
13...14	36568	67754	32702	4409
14...15	29214	63728	27620	1291
15...16	19916	51373	20326	0
16...17	10145	41991	13143	0
17...18	2768	32537	6130	0
18...19	113	21510	904	0
19...20	0	11558	10	0
20...21	0	3470	0	0
21...22	0	598	0	0

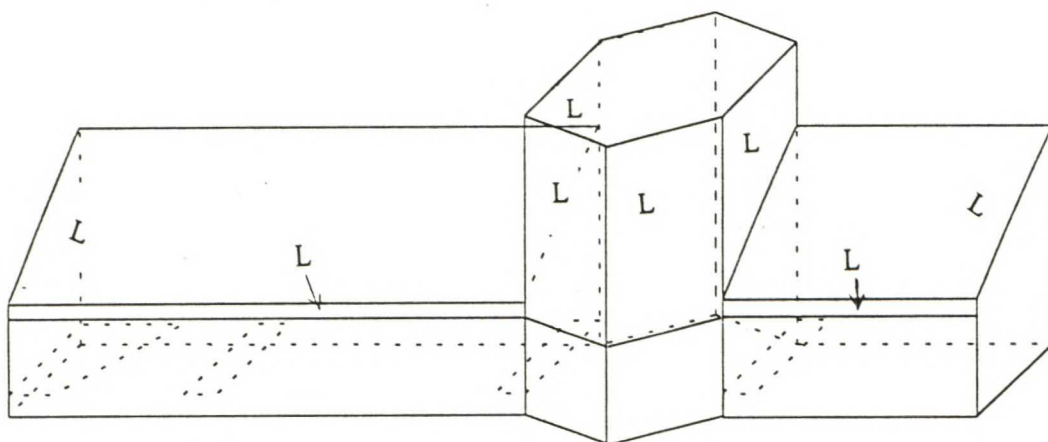
### 5.3.3 Valaistusvoimakkuus sisällä

Lasikatteisten tilojen päivänvalokertoimet on laskettu Lawrence Berkley laboratorion kehittämällä Superlite-ohjelmalla, jonka ominaisuudet ja rajoitukset on kuvattu luvussa 2.3.6.

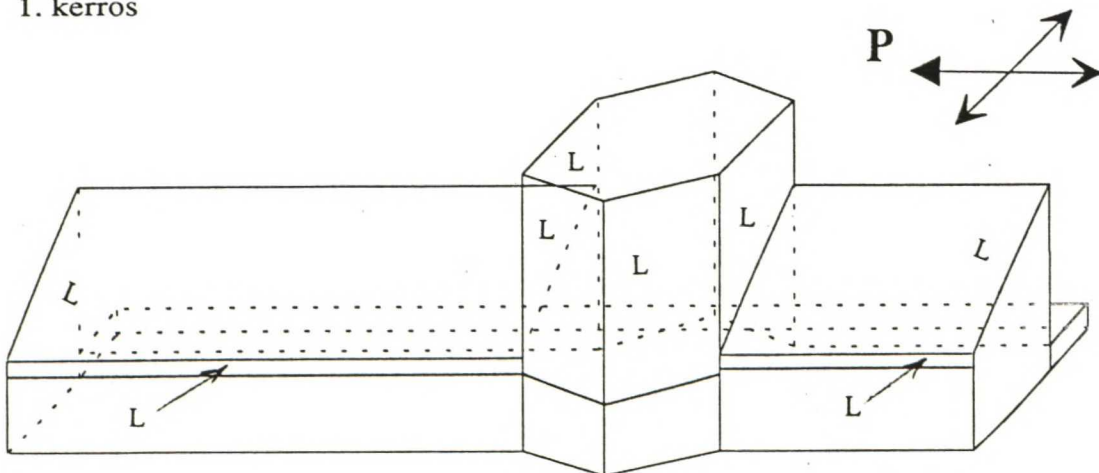
Koska ohjelma hyväksyy vain 30 pintaa kuvaamaan laskettavaa huonetta, täytyy valokatteisia tiloja yksinkertaistaa. Kuvassa 5.2 ovat valokatteiset tilat sellaisina, kun ne on ohjelmalle kuvattu. Ohjelmaan ei voida syöttää kaarevia pintoja, joten sylinteri on kuvattava tasoilla. Tilan kuvaamisessa on jouduttu jättämään pois pohjoisen käytävän itäseinustalla oleva kalteva taso sekä sylinterin keskellä oleva lasinen kartio.

Laskenta tehtiin kolmessa osassa. Osaan yksi kuuluvat etelän puoleinen käytävä sekä sylinteri ja osaan kaksi pojoinen käytävä sekä sylinteri. Osista yksi ja kaksi saadaan käytävien päivänvalojakautumat. Kolmanteen osaan kuuluvat eteläinen

käytävä ja sylinteri ilman ikkunoita. Kolmas osa tarvitaan, jotta pystyttäisiin sylinterin jakautumassa ottamaan huomioon toisen kappakäytävän, tässä tapauksessa eteläisen kauppakäytävän vaikutus. Sylinterin päivänvalojakautuma saadaan siis lisäämällä osaan kaksi eteläisen käytävän tuottama osuus osasta kolme. Koska valoa läpäiseviä pintoja voi olla vain viisi, joudutaan osista yksi ja kaksi jättämään sylinterin pohjoisen puoleinen lasiseinä pois. Kyseisen lasiseinän vaikutus voidaan huomioida osassa kolme, jossa kaikki muut sylinterin lasipinnat ovat pimeinä.



1. kerros



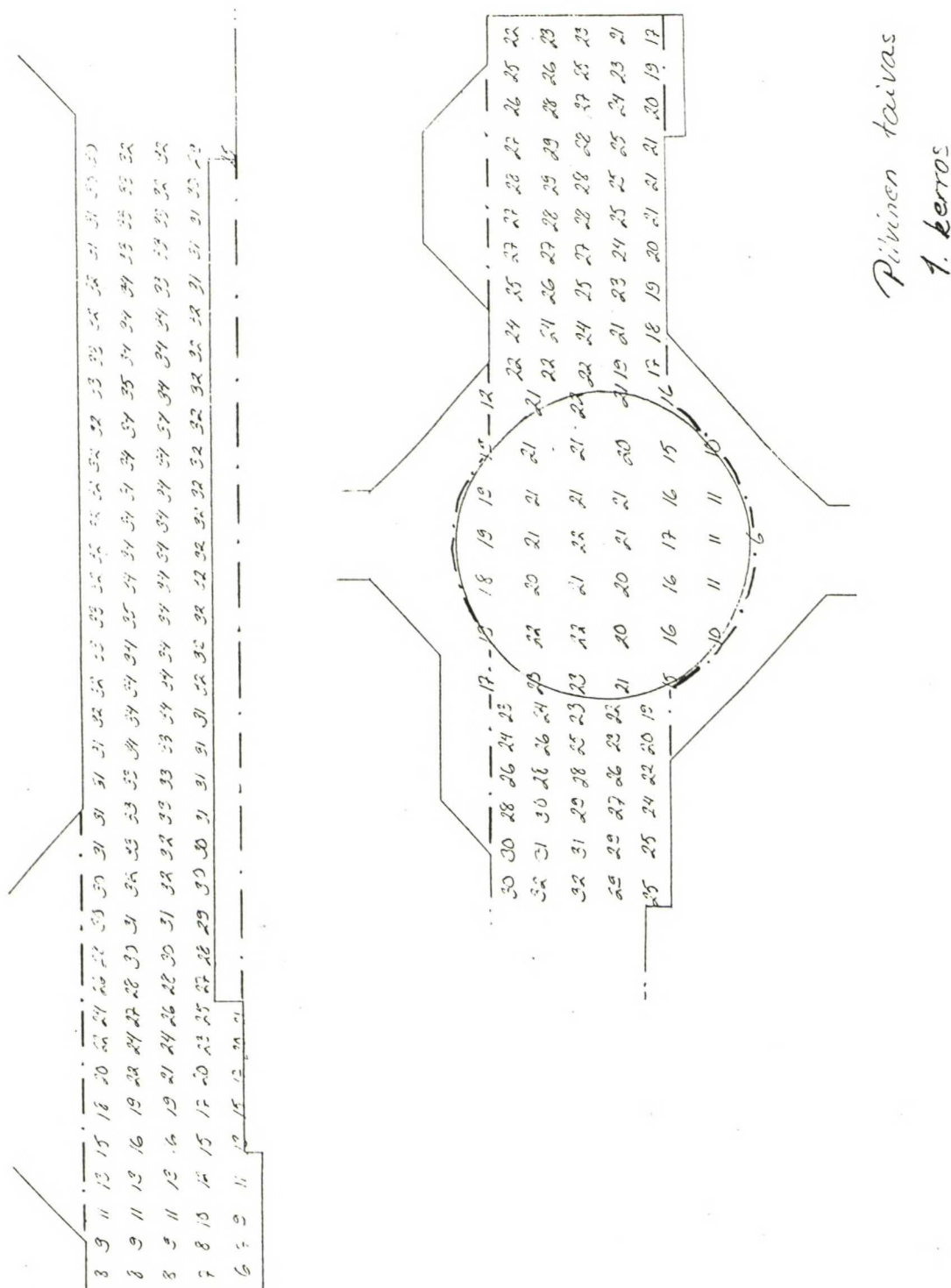
2. kerros

Kuva 5.2 Mega-Myyrin valokatteiset tilat yksinkertaistettuna Superlite-ohjelmaa varten. Lasiosat on merkitty L-kirjaimella.

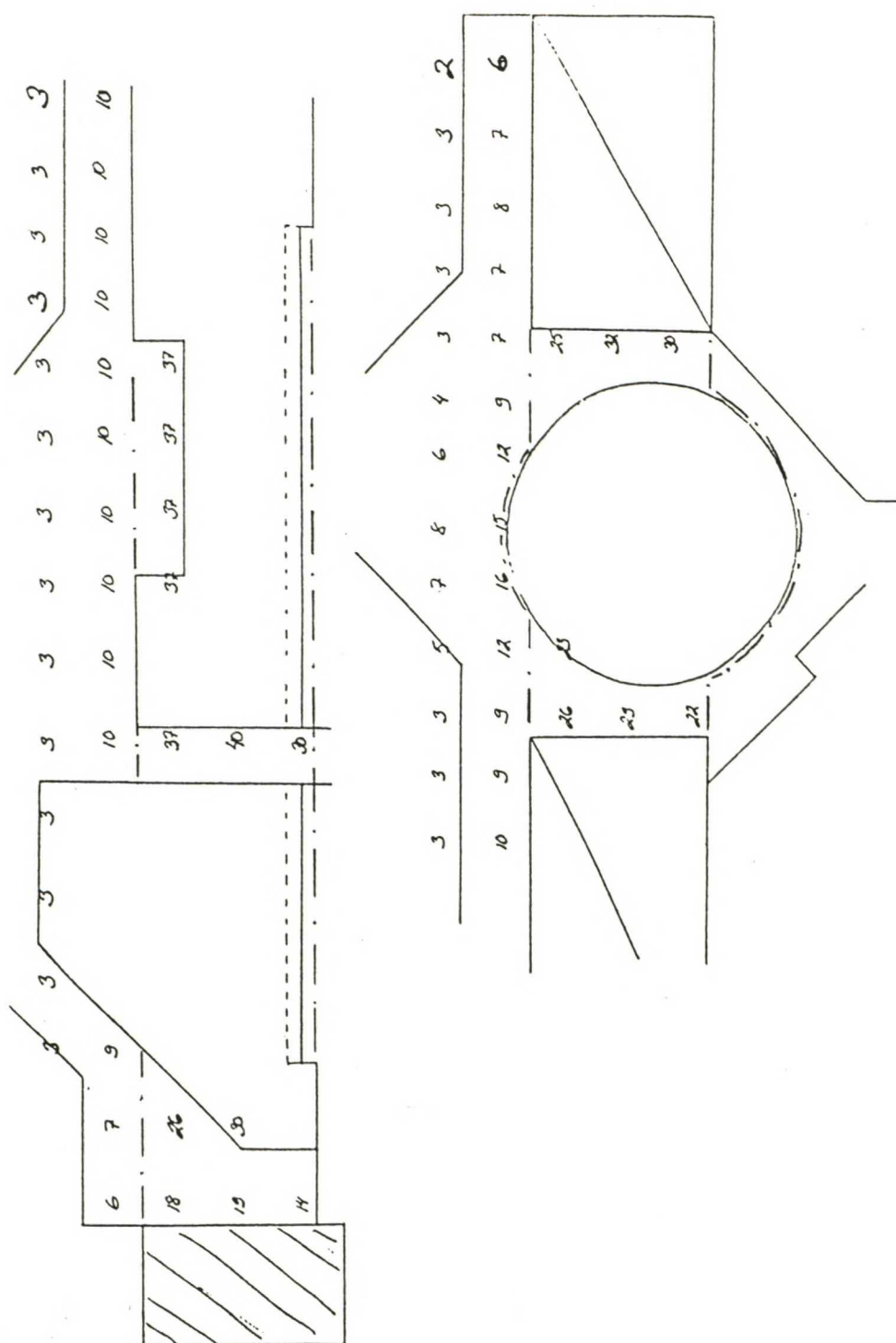
Laskennan lähtöarvot sisältävät tiedostot on liitteessä 12. Kuvassa 5.3 on esitetty laskennan tuloksena saadut päivänvalosuhteet ensimmäisessä kerroksessa ja kuvassa 5.4 toisessa kerroksessa. Päivänvalosuhteet on laskettu vain CIE:n standardoidun pilvisen taivaan olosuhteissa, joka jostain syystä oli ainut säätila, jonka ohjelma suostui laskemaan. Päivänvalosuhteiden sijasta olisi voitu laskea absoluuttiset valaistusvoimakkuudet, mikä olisi kuitenkin vaatinut tietoja ilmakehän kosteudesta ja turbiliteetista Suomessa. Lasketut päivänvalosuhteet ovat varsin suuria katetun



käytävän alueella ja vaimenevat nopeasti käytävästä poispäin.



Kuva 5.3 Superlite 1.0.1 -ohjelmalla laskettu päivänvalosuhteiden jakautuma Mega-Myyrin valokatteisen kauppakäytävän ensimmäisessä kerroksessa. Katteen rajat on merkitty kuvaan pistekatkoviivalla.



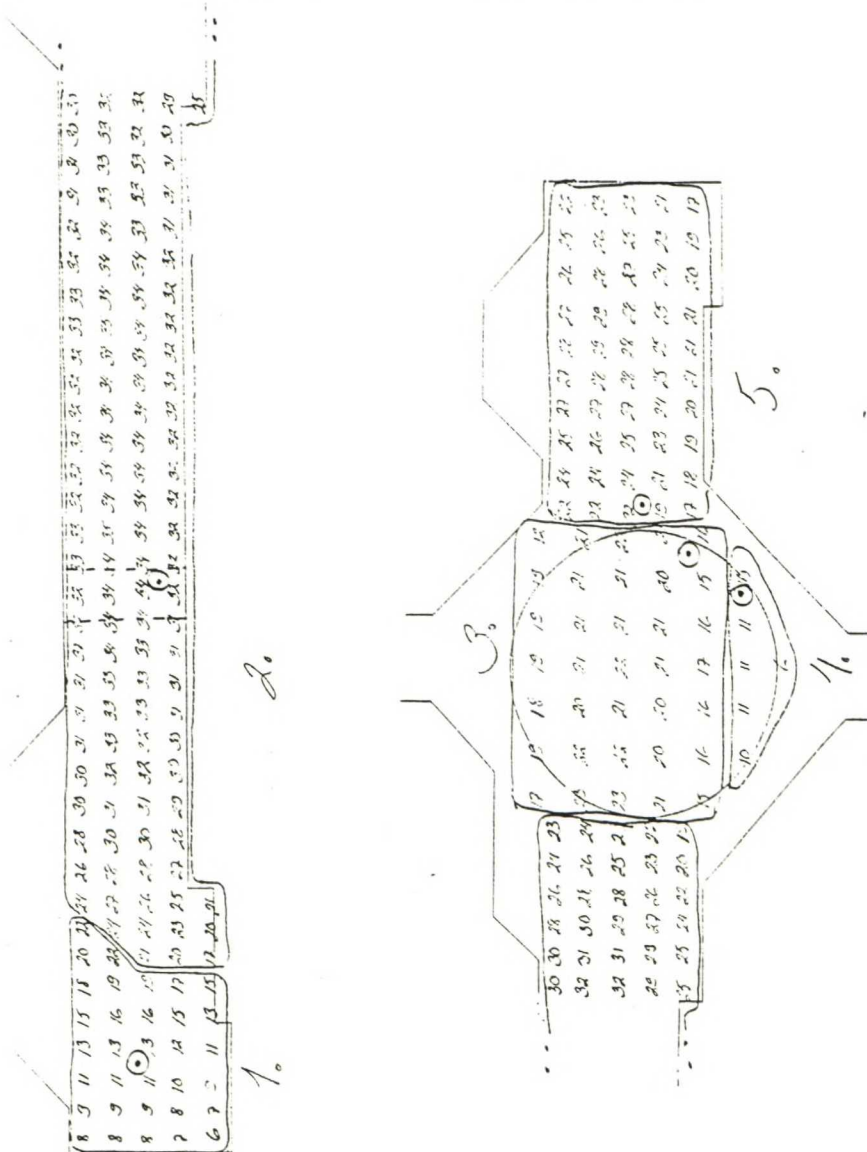
Kuva 5.4 Superlite 1.0.1 -ohjelmalla laskettu päivänvalosuhteiden jakautuma Mega-Myyrin valokatteisen kauppakäytävän toisessa kerroksessa. Katteen rajat on merkitty kuvaan pistekatkoviivalla.



## 5.4 KEINOVALON JA PÄIVÄNVALON YHDISTÄMINEN

### 5.4.1 Säätoanalyysi

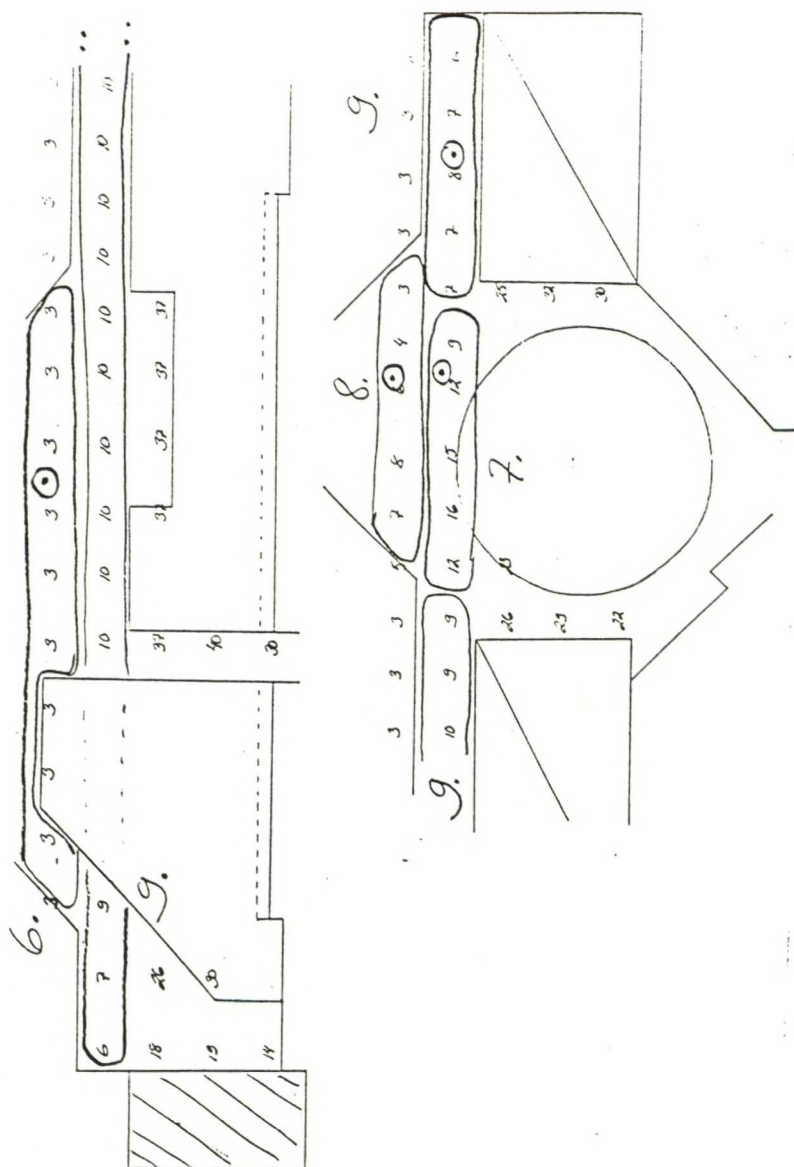
Kuvien 5.3 ja 5.4 perusteella voidaan tila jakaa säätoalueisiin ja valita kunkin säätoalueen valaistusvoimakkuuden mittauspaiikka (kuvat 5.5 ja 5.6).



Kuva 5.5 Kauppakäytävän jakaminen säätoalueisiin ja mittauspisteiden valinta ensimmäisessä kerroksessa.

Säätoalueet on jaettu toiminnallisten kokonaisuuksien ja valaistusvoimakkuuden taseisuuden mukaan: pohjoinen käytävä on jaettu päivänvalosuhteen perusteella kahteen osaan terassin alapuoliseen vähemmän päivänvaloa saavaan osaan ja ylös asti aivoimeen osaan, johon kuuluvat myös toisen kerroksen ylikulkusillat, sylinteri on

jaettu kahteen osaan, koska länsiosa jää pahasti seinän varjostamaksi, eteläkäytävä on oma säätöalueensa, kävelyterassi toisessa kerroksessa jaetaan etu- ja takaosaan, sylinterin reunusta erottuu päivänvalosuhteen perusteella muusta terassialueesta.



Kuva 5.6 Kauppakäytävän jakaminen säätöalueisiin ja mittauspisteiden valinta toisessa kerroksessa.

Säätötapojen analyysi tapahtuu kappaleessa 3.3.3.4 esitetyn menetelmän mukaan. Ainoana poikkeuksena on, ettei voida erikseen käsitellä pilvisen ja kirkkaan taivaan olosuhteita. Tarkastellaan kutakin säätöaluetta erikseen. Taulukoon 5.3 on laskettu säätöalueen 6 päivänvalon käytettävyys eri säätötavoilla vuodenaikojä edustavana neljänä kuukautena.  $PVK_k$  lasketaan ajasta, jolloin  $E_{kv}$  on 200 lx ja  $PVK_t$  ajasta, jolloin  $0 < E_{kv} < 200$  lx. Samalla tavalla lasketaan päivänvalon käytettävyys jokaiselle säätöalueelle. Liitteessä 13 on laskentatulokset kultakin säätöalueelta ja



taulukkoon 5.4 on kerätty kunkin alueen vuotuinen päivänvalon käytettävyys eri säätötavoilla. Vuotuinen päivänvalon käytettävyyskerroin lasketaan yhtälöstä 12.

Taulukko 5.3     Säästöalueen 6 päivänvalon käytettävyyden laskeminen eri säätötavoilla.

kello	maaliskuu				kesäkuu			
	Epv,s / lx	on/off Ekv / lx	3-port Ekv / lx	jatkuva Ekv / lx	Epv,s / lx	on/off Ekv / lx	3-port Ekv / lx	jatkuva Ekv / lx
8..9	597	0	0	0	1549	0	0	0
9..10	908	0	0	0	1884	0	0	0
10..11	1091	0	0	0	2153	0	0	0
11..12	1196	0	0	0	2118	0	0	0
12..13	1186	0	0	0	2078	0	0	0
13..14	1097	0	0	0	2033	0	0	0
14..15	876	0	0	0	1912	0	0	0
15..16	597	0	0	0	1541	0	0	0
16..17	304	0	0	0	1260	0	0	0
17..18	83	200	200	117	976	0	0	0
18..19	3	200	200	197	645	0	0	0
19..20	0	200	200	200	347	0	0	0
20..21	0	200	200	200	104	200	100	96
21..22	0	200	200	200	18	200	200	82

PVKk	0,64	0,64	0,64	0,86	0,86	0,86
PVKt		0,00	0,14		0,07	0,14
PVK	0,64	0,64	0,79	0,86	0,93	1,00

kello	syyskuu				joulukuu			
	Epv,s / lx	on/off Ekv / lx	3-port Ekv / lx	jatkuva Ekv / lx	Epv,s / lx	on/off Ekv / lx	3-port Ekv / lx	jatkuva Ekv / lx
8..9	717	0	0	0	0	200	200	200
9..10	943	0	0	0	39	200	200	161
10..11	1094	0	0	0	130	200	100	70
11..12	1126	0	0	0	194	200	100	6
12..13	1094	0	0	0	191	200	100	9
13..14	981	0	0	0	132	200	100	68
14..15	829	0	0	0	39	200	200	161
15..16	610	0	0	0	0	200	200	200
16..17	394	0	0	0	0	200	200	200
17..18	184	200	100	16	0	200	200	200
18..19	27	200	200	173	0	200	200	200
19..20	0	200	200	200	0	200	200	200
20..21	0	200	200	200	0	200	200	200
21..22	0	200	200	200	0	200	200	200

PVKk	0,64	0,64	0,64	0,00	0,00	0,00
PVKt		0,07	0,14		0,29	0,43
PVK	0,64	0,71	0,79	0,00	0,29	0,43
			PVKk,vuosi	0,54	0,54	0,54
			PVKt,vuosi		0,11	0,21
			PVKvuosi	0,54	0,64	0,75

Taulukko 5.4

Säätö- alue	Säätötapa						
	on/off PVKvuosi	3-port PVKk.vuosi	PVKt.vuosi	PVKvuosi	jatkuva PVKk.vuosi	PVKt.vuosi	PVKvuosi
1	0,66	0,66	0,05	0,71	0,66	0,11	0,77
2	0,71	0,71	0,02	0,73	0,71	0,05	0,77
3	0,70	0,70	0,04	0,73	0,70	0,07	0,77
4	0,66	0,66	0,04	0,70	0,66	0,09	0,75
5	0,71	0,71	0,02	0,73	0,71	0,05	0,77
6	0,54	0,54	0,11	0,64	0,54	0,21	0,75
7	0,71	0,71	0,05	0,77	0,71	0,11	0,82
8	0,64	0,64	0,02	0,66	0,64	0,13	0,77
9	0,66	0,66	0,04	0,70	0,66	0,11	0,77

Kauppakäytävän päivänvalosuhteet ovat erittäin suuria (säätöalueet 2...5). Kuten taulukosta 5.4 nähdään saavutetaan yksinkertaisella päälle/pois säädöllä lähes yhtä hyvä päivänvalon käytettävyys kuin monimutkaisemmallakin säädöllä. Ainoastaan säätöalueella 4, jota varjostaa sylinterin länsiseinä, päivänvalon käytettävyydessä on suurempia eroja eri säätötapojen välillä. Käytäväalueella on kuitenkin hyvä olla yhtenäinen säätötapa ja valitaan siksi koko kauppakäytävälle päälle/pois -säätö.

Muiden alueiden kohdalla säätötavan valitseminen on vaikeampaa ja siksi jatketaan analyysiä vertailemalla erilaisia säätöalueiden säätötapojen yhdistelmiä. Valitaan vertailtavaksi seuraavat yhdistelmät.

1. Säätöalueet 2...5 (käytävä) päälle/pois -säätö, muut alueet säätämättömiä
2. Säätöalueet 1...5, 7 ja 9 päälle/pois -säätö, 6 ja 8 säätämättömiä
3. Kaikilla säätöalueilla päälle/pois -säätö
4. Säätöalueet 2...5 päälle/pois -säätö, muilla alueilla 3-portainen säätö
5. Säätöalueet 2...5 päälle/pois -säätö, muilla alueilla jatkuva säätö
6. Kaikilla alueilla jatkuva säätö

Taulukoissa 5.5...5.10 on esitetty päivänvalon käytettävyys eri säätötapojen yhdistelmillä.  $PVK_{huone}$  lasketaan yhtälöstä 11.



Taulukko 5.5 Päivänvalon käytettävyyden laskeminen säätötapojen yhdistelmällä

$$1. PVK_{huone} = \sum (A_n PVK_n) / \sum A_n, n \text{ on säätöalue } 1 \dots 9.$$

säätö- alue	säätötapa	A/m <sup>2</sup>	PVK maalisk	A * PVK	PVK kesäk	A * PVK	PVK syysk	A * PVK	PVK jouluk	A * PVK	PVK vuosi
1	ei säätöä	209	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	on/off	932	0,71	661,72	0,93	866,76	0,79	736,28	0,43	400,76	
3	on/off	387	0,71	274,77	0,93	359,91	0,71	274,77	0,43	166,41	
4	on/off	48	0,71	34,08	0,93	44,64	0,71	34,08	0,29	13,92	
5	on/off	319	0,71	226,49	0,93	296,67	0,79	252,01	0,43	137,17	
6	ei säätöä	150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	ei säätöä	97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	ei säätöä	95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	ei säätöä	419	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
yht.		2656		1197,06		1567,98		1297,14		718,26	0,45
PVKhuone				0,45		0,59		0,49		0,27	

Taulukko 5.6 Päivänvalon käytettävyyden laskeminen säätötapojen yhdistelmällä

$$2. PVK_{huone} = \sum (A_n PVK_n) / \sum A_n, n \text{ on säätöalue } 1 \dots 9.$$

säätö- alue	säätötapa	A/m <sup>2</sup>	PVK maalisk	A * PVK	PVK kesäk	A * PVK	PVK syysk	A * PVK	PVK jouluk	A * PVK	PVK vuosi
1	on/off	209	0,71	148,39	0,93	194,37	0,71	148,39	0,29	60,61	
2	on/off	932	0,71	661,72	0,93	866,76	0,79	736,28	0,43	400,76	
3	on/off	387	0,71	274,77	0,93	359,91	0,71	274,77	0,43	166,41	
4	on/off	48	0,71	34,08	0,93	44,64	0,71	34,08	0,29	13,92	
5	on/off	319	0,71	226,49	0,93	296,67	0,79	252,01	0,43	137,17	
6	on/off	150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	on/off	97	0,71	68,87	0,93	90,21	0,79	76,63	0,43	41,71	
8	on/off	95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	on/off	419	0,71	297,49	0,93	389,67	0,71	297,49	0,29	121,51	
yht.		2656		1711,81		2242,23		1819,65		942,09	0,63
PVKhuone				0,64		0,84		0,69		0,35	

Taulukko 5.7 Päivänvalon käytettävyyden laskeminen säätötapojen yhdistelmällä

$$3. PVK_{huone} = \sum (A_n PVK_n) / \sum A_n, n \text{ on säätöalue } 1 \dots 9.$$

säätö- alue	säätötapa	A/m <sup>2</sup>	PVK maalisk	A * PVK	PVK kesäk	A * PVK	PVK syysk	A * PVK	PVK jouluk	A * PVK	PVK vuosi
1	on/off	209	0,71	148,39	0,93	194,37	0,71	148,39	0,29	60,61	
2	on/off	932	0,71	661,72	0,93	866,76	0,79	736,28	0,43	400,76	
3	on/off	387	0,71	274,77	0,93	359,91	0,71	274,77	0,43	166,41	
4	on/off	48	0,71	34,08	0,93	44,64	0,71	34,08	0,29	13,92	
5	on/off	319	0,71	226,49	0,93	296,67	0,79	252,01	0,43	137,17	
6	on/off	150	0,64	96,00	0,86	129,00	0,64	96,00	0,00	0,00	
7	on/off	97	0,71	68,87	0,93	90,21	0,79	76,63	0,43	41,71	
8	on/off	95	0,64	60,80	0,93	88,35	0,71	67,45	0,29	27,55	
9	on/off	419	0,71	297,49	0,93	389,67	0,71	297,49	0,29	121,51	
yht.		2656		1868,61		2459,58		1983,1		969,64	0,69
PVKhuone				0,70		0,93		0,75		0,37	

Taulukko 5.8 Päivänvalon käytettävyyden laskeminen säätötapojen yhdistelmällä

4.  $PVK_{huone} = \sum (A_n PVK_n) / \sum A_n$ , n on säätöalue 1...9.

säätö- alue	säätötapa	A/m <sup>2</sup>	PVK maalisk	A * PVK	PVK kesäk	A * PVK	PVK syysk	A * PVK	PVK jouluk	A * PVK	PVK vuosi
1	3-port	209	0,71	148,39	0,93	194,37	0,79	165,11	0,43	89,87	0,70
2	on/off	932	0,71	661,72	0,93	866,76	0,79	736,28	0,43	400,76	
3	on/off	387	0,71	274,77	0,93	359,91	0,71	274,77	0,43	166,41	
4	on/off	48	0,71	34,08	0,93	44,64	0,71	34,08	0,29	13,92	
5	on/off	319	0,71	226,49	0,93	296,67	0,79	252,01	0,43	137,17	
6	3-port	150	0,64	96,00	1,00	150,00	0,71	106,50	0,29	43,50	
7	3-port	97	0,71	68,87	0,93	90,21	0,86	83,42	0,57	55,29	
8	3-port	95	0,71	67,45	0,93	88,35	0,71	67,45	0,29	27,55	
9	3-port	419	0,71	297,49	0,93	389,67	0,71	297,49	0,43	180,17	
yht.		2656		1875,26		2480,58		2017,11		1114,64	
PVKhuone				0,71		0,93		0,76		0,42	

Taulukko 5.9 Päivänvalon käytettävyyden laskeminen säätötapojen yhdistelmällä

5.  $PVK_{huone} = \sum (A_n PVK_n) / \sum A_n$ , n on säätöalue 1...9.

säätö- alue	säätötapa	A/m <sup>2</sup>	PVK maalisk	A * PVK	PVK kesäk	A * PVK	PVK syysk	A * PVK	PVK jouluk	A * PVK	PVK vuosi
1	jatkuva	209	0,79	165,11	1,00	209,00	0,83	173,47	0,43	89,87	0,73
2	on/off	932	0,71	661,72	0,93	866,76	0,79	736,28	0,43	400,76	
3	on/off	387	0,71	274,77	0,93	359,91	0,71	274,77	0,43	166,41	
4	on/off	48	0,71	34,08	0,93	44,64	0,71	34,08	0,29	13,92	
5	on/off	319	0,71	226,49	0,93	296,67	0,79	252,01	0,43	137,17	
6	jatkuva	150	0,79	118,50	1,00	150,00	0,79	118,50	0,43	64,50	
7	jatkuva	97	0,79	76,63	1,00	97,00	0,93	90,21	0,57	55,29	
8	jatkuva	95	0,79	75,05	1,00	95,00	0,86	81,70	0,43	40,85	
9	jatkuva	419	0,79	331,01	1,00	419,00	0,86	360,34	0,43	180,17	
yht.		2656		1963,36		2537,98		2121,36		1148,94	
PVKhuone				0,74		0,96		0,80		0,43	

Taulukko 5.10 Päivänvalon käytettävyyden laskeminen säätötapojen yhdistelmällä

6.  $PVK_{huone} = \sum (A_n PVK_n) / \sum A_n$ , n on säätöalue 1...9.

säätö- alue	säätötapa	A/m <sup>2</sup>	PVK maalisk	A * PVK	PVK kesäk	A * PVK	PVK syysk	A * PVK	PVK jouluk	A * PVK	PVK vuosi
1	jatkuva	209	0,79	165,11	1,00	209,00	0,83	173,47	0,43	89,87	0,77
2	jatkuva	932	0,79	736,28	1,00	932,00	0,86	801,52	0,43	400,76	
3	jatkuva	387	0,79	305,73	1,00	387,00	0,86	332,82	0,43	166,41	
4	jatkuva	48	0,79	37,92	1,00	48,00	0,79	37,92	0,43	20,64	
5	jatkuva	319	0,79	252,01	1,00	319,00	0,86	274,34	0,43	137,17	
6	jatkuva	150	0,79	118,50	1,00	150,00	0,79	118,50	0,43	64,50	
7	jatkuva	97	0,79	76,63	1,00	97,00	0,93	90,21	0,57	55,29	
8	jatkuva	95	0,79	75,05	1,00	95,00	0,86	81,70	0,43	40,85	
9	jatkuva	419	0,79	331,01	1,00	419,00	0,86	360,34	0,43	180,17	
yht.		2656		2098,24		2656		2270,82		1155,66	
PVKhuone				0,79		1,00		0,85		0,44	



Yhdistelmää yksi voidaan pitää perustapauksena, johon kaikkia muita yhdistelmiä verrataan. Yhdistelmällä vuotuiseksi päivänvalon käytettävyysskertoimeksi saadaan 0,45 eli 45 % rakennuksen käyttöajasta voidaan hyödyntää päivänvaloa. Pelkästään lisäämällä päälle/pois -säätöä muillekin säätöalueille voidaan nostaa  $PVK_{vuosi}$  0,69:ään (yhdistelmät 2 ja 3). Kolmiportaisen säädön valitseminen kauppakäytävää reunustaville alueille parantaa päivänvalon käytettävyysskerrointa yhden prosenttiyksikön yhdistelmään 3 verrattuna. Kolmiportaisen säädön käyttäminen ei siten ole perusteltua. Jatkuva säätö reuna-alueilla yhdistelmässä viisi parantaa päivänvalon käytettävyysskerrointa 0,73:een. Yhdistelmässä kuusi on vielä tarkasteltu periaatteellista ratkaisua, jossa kaikilla alueilla käytettäisiin jatkuvaa säätöä. Tällaisella järjestelyllä saavutetaan päivänvalon käytettävyysskertoimeksi 0,77 eli 8 % yhdistelmään 3 ja 4 % yhdistelmään 5 verrattuna. Käytännössä jatkuva säätö ei käytäväalueella ole mahdollinen, koska valonlähteinä joudutaan todennäköisesti käyttämään purkauslamppuja, joita ei voida säätää jatkuvasti. Suuritehoisista lamputa halogeenilamput ovat säädettäviä. Halogeenilamppujen elinikä on kuitenkin lyhyt, 2 000 h, ja vaikka säätäminen pidentääkin elinikää merkittävästi, ei halogeenilamppu pärjää purkauslamppuille. Toisaalta halogeenilamput valotehokkuus on huono verrattuna purkauslamppuihin.

#### 5.4.2 Kustannukset

Lopullista säätötapojen valintaa ei voida tehdä vain päivänvalon käytettävyysskertoimien perusteella vaan tilannetta täytyy tarkastella kustannusten kannalta. Valaistusenergian kulutus lasketaan päivänvalon käytettävyysskertoimien perusteella. Laskennassa käytettävä yhtälö riippuu säätötavasta. Portaittaiselle säädölle käytetään yhtälöä 16 ja jatkuvalla säädölle yhtälöä 19. Yhtälöä 16 voidaan käyttää jatkuvassa säädössä, jos oletetaan, että tehon muutos aiheuttaa samansuuruisen muutoksen valaistustasoon. Taulukossa 5.11 on laskettu esimerkinä valaistusenergian kulutus säätöalueelle 1 ja taulukkoon 5.12 on kerätty muiden säätöalueiden valaistusenergian kulutukset. Taulukkoon 5.13 on lopulta laskettu energiankulutus ja energiakustannukset eri säätötapojen yhdistelmillä. Sähköenergian hintana on käytetty Vantaan sähkölaitoksen suurjännitetariffin mukaista 33,9 p/kWh.

Taulukko 5.11 Valaistusenergian kulutuksen laskeminen säätöalueelle 1. A on säätöalueen pinta-ala, p valaistuksen neliöteho ja t valaistuksen käyttöaika. Teho lasketaan säätämättömässä tilanteessa yhtälöstä 15, portaitaisessa säädössä yhtälöstä 16 ja jatkuvassa säädössä yhtälöstä 19. Energia lasketaan yhtälöstä 13.

$A = 209 \text{ m}^2$ ,  $p = 8 \text{ W/m}^2$ ,  $t = 5000 \text{ h}$

Säätötapa	1.porras		2.porras		3.porras		P / W	W / kWh
	PP	PVK	PP	PVK	PP	PVK		
ei säätöä	1,00	1,00					1672	8360
on/off	0,00	0,66	1,00	0,34			568	2842
3-port.	0,00	0,66	0,50	0,05	1,00	0,29	527	2633
jatkuva	0,00	0,66	0,495	0,11	1,00	0,23	476	2378

Taulukko 5.12 Valaistusenergian kulutukset eri säätöalueille.

Säätöalue	Energiankulutus / kWh			
	ei säätöä	on/off	3-port	jatkuva
1	8360	2842	2633	2378
2	83200	27028	26096	24675
3	38700	11610	10836	10242
4	4800	1632	1536	1414
5	31900	9251	8932	8446
6	4875	2243	1974	1726
7	3153	914	835	739
8	3088	1112	1081	909
9	8938	3039	2860	2542

Taulukko 5.13 Valaistusenergian kulutus ja energiakustannus eri säätötapojen yhdistelmillä. Energian hintana on käytetty 33,9 p/kWh.

Säätöalue	Energiankulutus / kWh					
	yhd. 1	yhd. 2	yhd. 3	yhd. 4	yhd. 5	yhd. 6
1	8360	2842	2842	2633	2378	2378
2	27028	27028	27028	27028	27028	24675
3	11610	11610	11610	11610	11610	10242
4	1632	1632	1632	1632	1632	1414
5	9251	9251	9251	9251	9251	8446
6	4875	4875	2243	1974	1726	1726
7	3153	914	914	835	739	739
8	3088	3088	1112	1081	909	909
9	8938	3039	3039	2860	2542	2542
yhteensä	77935	64279	59671	58904	57815	53071
kustannus/mk	26420	21791	20228	19968	19599	17991



Energiakustannuksien lisäksi täytyy tarkastella eri yhdistelmien laitekustannuksia. Yhdistelmissä 1...3 laitekustannukset koostuvat käytännössä ainoastaan valoantureista, jotka maksavat noin 600 mk kappale. Jatkuva säätö edellyttää valoanturien lisäksi säätimiä, vahvistimia sekä elektronisia liitälaitteita valaisimiin. Yhdistelmät 4 ja 6 voidaan jättää huomioimatta, koska ne on jo aiemmin todettu käyttökelvottomiksi. Eri yhdistelmien kokonaislaitekustannuksiksi saadaan:

Taulukko 5.14 Eri säätötapojen yhdistelmien kokonaislaitekustannukset

yhdistelmä	laite	lkm	hinta/mk	lkm*hinta	kok.kustannus
1.	valoanturi	4	600	2 400	2 400
2.	valoanturi	7	600	4 200	4 200
3.	valoanturi	9	600	5 400	5 400
5.	valoanturi	9	600	5 400	49 714
	elektronisesta liitälaitteesta johtuva valaisimen hinnan nousu (1x58 W)	82	300	24 600	
	säädin Helvar LCS D10-US	3	5 943	17 829	
	vahvistin Helvar CON 101	1	1 885	1 885	

Päälle/pois -säädön laitekustannukset tulevat niin pieniksi, että säätötapa tulee varmasti lyhyen ajan sisällä kannattavaksi. Laitekustannuksissa ei ole huomioitu aivan kaikkia päälle/pois säädön aiheuttamia kustannuksia, koska niiden arvioiminen on hankalaa. Lisäkustannuksia aiheuttavat säädön ohjauksen istuttaminen muhun valaistuksen ohjaukseen. Samat kustannukset koskevat kuitenkin kaikkia säätötapoja. Jatkuvassa säädössä laitekustannukset ovat erittäin kalliita verrattuna muihin järjestelmiin. Toisaalta tässä ei ole huomioitu elektronisen liitälaitteen tuomia säästöjä perinteiseen kuristimeen verrattuna. Elektroninen liitälaitte vähentää valaistuslaitteiden liitälaittehoja ja toimii hyvällä tehokertoimella ilman kompensointia.

Edellisen perusteella valitaan säätötavaksi päälle/pois -säätö kaikille säätöalueille.

### 5.4.3 Kenovalaistuksen toteutus

Käytävän ja sylinterin alueella voidaan iltaisin tyytyä pienempään valaistusvoimakkuuteen kuin 200 lx. Valaistuksella pyritään luomaan miellyttävä, lämmin tunnelma vastakohtana usein voimakkaasti valaistuille ja laitosmaisille kauppakeskuksille.

Lasikatteisen kauppakäytävän päivänvalosuhteet ovat 30 % tienoilla eli erittäin suuria. Keinovaloa ei valon riittävyyden kannalta tarvita kuin aamulla ja illalla

pimeimpinäkään vuodenaikoina. Aamulla ja illalla auringonnousun ja -laskun tienoilla päivänvalo on lämpimämmän sävyistä kuin päivällä. Tällaisessa päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytössä voidaan keinovalon värisävyksi valita lämpimiä sävyjä. Valonlähteiksi sopivat monimetallilamppu, halogeenilamppu ja värikorjattu suurpainenatriumlamppu, koska valonlähteiltä vaaditaan väriominaisuuksien lisäksi kohtuullisen suuria tehoja. Säätoanalyysin perusteella valittu päälle/pois -säätö soveltuu säätötavoista purkauslamppuille kaikkein parhaiten, koska sytytyskerrat jäävät siinä kaikkein vähimmäksi.

Kauppakäytävän valaistus perustetaan pääosin valaisinpylväisiin ja kauppakäytävää reunustaviin pilareihin ensimmäiseen ja toiseen kerrokseen kiinnitettäviin valaisimiin. Valonlähteinä käytetään monimetallilamppua. Käytävän yli kulkeville kävelysilloille sijoitetaan matalia pollarivalaisimia kaiteisiin istutettuina. Lisävalaistusta saadaan korostamalla kauppakäytävän keskellä kulkeva viherkasvirivistö valaisemalla korkeimmat kasvit alhaalta ylöspäin suuntautuvilla kohdevalaisimilla. Valonlähteiden sijoittamisessa on huolehdittava, etteivät valonlähteet paista käytävällä kulkevien silmiin ja aiheuta häikäisyä. Valokatteen rakenteita korostetaan sijoittamalla monimetallilampulla varustettuja valonheittimiä vinon katteen osan matalammalle reunalle piiloon lasiseinän ja liikkeisiin rajoittuvan säinän väliselle tasanteelle. Valo suunnitataan katteen suuntaisesti. Käytävän varrelle ripustettavia mainoksia varten varataan kohdevalaisimia.

Sylinterin muotoinen aula valaistaan samaan tapaan kuin käytäväkin. Pylväsvalaisimien lisäksi kiinnitetään valaisimia sylinteriä toisen kerroksen lattiatasossa kiertävään pantaan. Sylinterin kattoon arkkitehti on suunnitellut tummalle pohjalle tähtitaivasta, joka todennäköisesti toteutetaisiin optisilla kuiduilla. Optisten kuitujen avulla voidaan valonlähteet sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa niiden huoltaminen on mahdollista. Suunnittelun on vielä niin alkuvaiheessa, ettei toteutuksen toimivuutta tai toteutusta ole tarkkaan mietitty. Jotta tähtitaivas erottuisi alhaalta katsottuna, ei sylinterin yläosaan sijoiteta valaisimia sylinteriä reunustavia käytäviä lukuunottamatta. Korkeintaan sylinterin pilareita valaistaan alhaalta ylöspäin. Pilarin valaisimet sijoitetaan niin alas, etteivät ne häiritse katon esille tuleamista.

Kauppakäytävän viereisillä alueilla keinovaloa joudutaan käyttämään valoisinakin vuorokauden aikoina. Tällöin on suotavaa käyttää valonlähteinä kylmemmän sävyisiä lampuja kuin kauppakäytävällä. Valonlähteinä käytetään loistelamppuja valaisimissa, jotka upotetaan käytävän kattoon. Lisäksi alueille sijoitetaan samannäköisiä pylväsvalaisimia kuin kauppakäytävällekin.



## 6. YHTEENVETO

Valokattamisen perusideana on tuoda päivänvaloa sisätiloihin. Päivänvaloa voidaan tietoisesti käyttää hyväksi yhdistämällä päivänvalon ja keinovalon käytön toisiinsa.

Yhteiskäytön suunnittelussa on tärkeää, että tiedetään paljonko päivänvaloa on saatavissa ja tunnetaan keinovalon säätömahdollisuudet. Onhan selvää, ettei haluta tehdä investointeja keinovalon säätölaitteisiin, jos investoinnin toimivuudesta tai kannattavuudesta ei ole takuita. Valitettavasti Suomessa ei ole tehty päivänvalon tuottamien valaistusvoimakkuuksien pitkäjänteisiä ja maankattavia mittauksia, joihin päivänvalon käytettävyysslaskelmat voisi perustaa. Keinovalon säätämisen toteutustavat ovat myös pitkään olleet lapsen kengissä. Säätäminen on ollut vieras, kalliiksi ja epäluotettavaksi koettu menetelmä. Yhtenä syynä tähän voi olla se, että jatkuva säätäminen mielletään ainoaksi keinoksi päivänvalon ja keinovalon yhteiskäytössä. Päälle/pois-säätö sekä portaittainen säätö voivat olla kumpikin toteutuksesta ja käyttökohteesta riippuen hyviä, päivänvaloa tehokkaasti hyödyntäviä ja näköympäristön kannalta miellyttäviä ratkaisuja. Säädön toteuttaminen siten, ettei se häiritse tilan käyttäjiä on valaistusjärjestelmän onnistumisen kannalta ensiarvoisen tärkeää.

Korkeiden valokatteisten tilojen valaistus toteutetaan useimmiten suuritehoisilla purkauslampuilla. Suuritehoisia valonlähteitä käytettäessä on kiinnitettävä erityistä huomiota häikäisysojaukseen niin valaisimien valinnassa, kuin niiden sijoittelussakin. Valmiita valaisinvaihtoehtoja suuritehoisille valonlähteille on valitettavan vähän jos valonheittimet ja teollisuusvalaisimet jätetään huomioimatta. Valaisinvalikoiman kasvattaminen on tärkeimpiä kehityskohteita valokatteisten tilojen valaistuksen kehtiystyössä.

## LÄHTEET:

- /1/ Valokatteiset tilat. Helsinki 1989, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:177. 293 s.
- /2/ Atria. 1990, IEA Solar Heating and Cooling Program Task XI: Passive Solar Commercial Buildings.
- /3/ ROBBINS, C.L. Daylighting: Design & Analysis. New York 1986, Van Nostrand Reinhold company. 877 s.
- /4/ AHPONEN, V. Päivänvalon käyttö valaistustarkoituksiin. Espoo 1976, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedonanto 21. 77 s.
- /5/ Luonnonvalon hyväksikäyttö rakennuksen energiankäytön minimoinnissa. Espoo 1984, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Esitutkimus. 87 s.
- /6/ Valaistustekniikan käsikirja II. Helsinki 1982, Suomen Sähköurakoitsijaliitto RY ja Suomen Valoteknillinen Seura RY. 371 s.
- /7/ Valaistussuosituksat: sisävalaistus. Helsinki 1986, Suomen Valoteknillinen Seura Ry:n julkaisuja 9-1986. 166 s.
- /8/ MATERO, J. Optiset kuidut rakennuksen valaistusjärjestelmissä. Espoo 1990, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu.
- /9/ PARTONEN, T. Valon vaikutukset mielialaan ja ihmisen fysiologiaan. Seminaariesitelmä, Valo-92 -seminaari, Helsinki 28.-30.8.1991, Valo-92 toimikunta.
- /10/ SJÖBLOM, L. Bättre ljus ger bättre hälsa. Ljuskultur 63(1991)3, s. 8-11.
- /11/ BRUUN, R.A; PUUPPONEN, E. & HEDÉN, Å. Iloa ja viihtyisyyttä huonekasveista. 1986. Substral.127 s.
- /12/ Skylight Handbook: Energy Design Guidelinen. 1986, American Architectural Manufacturers Association.
- /13/ Valokatteiset sisäpihat toimistorakennuksissa. Helsinki 1987, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:130. 111 s.
- /14/ OKSANEN, J. Puhelinkeskustelu 30.4.1992.
- /15/ OSRAM. Mittaustuloksia.
- /16/ Suomen meteorologinen vuosikirja. Nide 71-80, osa 4:1 Säteilyn mittaaminen ja tulosten käsittely. Helsinki 1982, Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto. 226 s.
- /17/ Suomen meteorologinen vuosikirja. Nide 71-80, osa 4:2 Auringonpaistehavainnot. Helsinki 1982, Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto. 165 s.
- /18/ GAY, J-B & NICLASS, A. New Monitoring Methods. Project A3 of IEA Task XI: Solar Heating and Cooling Program. Lausanne. 67 s.
- /19/ McCLUNEY, R. The Importance of the IDMY, 1991: The CIE International Daylight Measurement year. Lighting Design + Application 20(1990)5, s. 32-41.
- /20/ Energy & Economics: Strategies for Office Building Design. 97 s.
- /21/ NAVVAB, M. Outdoors Indoors, Daylighting Within Atrium Spaces. Lighting Design + Application 20(1990)5, s. 6-7 ja 24-31.
- /22/ Museoiden ja taidegallerioiden valaistus, taideteosten säteilysuojaus ERCO-valaistusratkaisut. Hedengren valaistus 1991, tekninen raportti.



- /23/ BLATTERMAN, J.F. New Products: Frit Glass More Than Decorative. Architectural Record, (1988)October, s. 140-141.
- /24/ Stopsol. Glaverbel, 1989. Tuote-esite.
- /25/ Aurinkosuoja-lasit. Lahden lasitehdas, 1989. Tuote-esite.
- /26/ RAITANIEMI, O. Lasi julkisivussa - lasityyppien käyttöedellytykset. Helsinki 1988, Insinööri-järjestöjen koulutuskeskus, julkaisu 140-88, Korkealaatuinen julkisivu. luku XI.
- /27/ RAINAMO, M. Julkisivulasit. Helsinki 1988, Insinööri-järjestöjen koulutuskeskus, julkaisu 140-88, Korkealaatuinen julkisivu. luku X. 23 s.
- /28/ Lämmitettävä ikkuna osaksi asumisviihtyvyyttä. Profiili. s. 87-11.
- /29/ KELLNER, J. Överglasad Gård, värmepumpar och borrhåls-lager i flerbostadshus - system Suncourt. Tukholma 1986, Tukholman kaupunki, Stadsbyggnadskontoret. R81:1986. 183 s.
- /30/ Source Book. 1990, IEA Solar Heating and Cooling Program Task XI: Passive Solar Commercial Buildings.
- /31/ RAUTIAINEN, L. Valoaläpäisevät lämmöneristeet. Espoo 1989, Energiataloudellisten rakennusten ja rakennusosien tutkimusohjelma, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Raportti 1. 48 s.
- /32/ RAUTIAINEN, L. & JUMPPANEN, J. Aurinkoenergian hyödyntäminen valoa läpäisevillä eristeillä. Sähköala 33(1991)11, s. 24-26.
- /33/ REILLY, S; PLATZER, W & WITTEWER, V. Transparently Insulated Windows: Daylighting Prospects and Aperture Control. Freiburg 1991, s. 180-183.
- /34/ RAUTIAINEN, L. puhelinkeskustelu 24.3.1992.
- /35/ ARASTEH, D. Super Windows. Glass Magazine (1989)5, s. 82-83.
- /36/ Ikkuna pimeäksi nappia painamalla. Tekniikkaa ja talous 2.10.1991.
- /37/ ELOMAA, K. Valotila Oy. Keskustelu 20.11.1991.
- /38/ Finnacryl (PMMA). RT R-33068, syyskuu 1989.
- /39/ Helsinki tarkistaa lasikatteiden valvontaohjeitaan. Rakennuslehti 26(1992)7, s.9.
- /40/ LAMPERT, C.M. Electrochromic Optical Switching Materials Research for Glazings, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California 1989. 12 s.
- /41/ SIMOLA, K. Valokatteisten tilojen energiataseeseen vaikuttavat tekijät. Espoo 1987, Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan laitos, Raportti TKK-F-B104. 80 s.
- /42/ Makrolon levyt rakennussunnittelussa. Röhm. Tuote-esite
- /43/ ROSCHIER, P. Rostek. Keskustelu 26.11.1991.
- /44/ LITTLEFAIR, P. Innovative Daylighting Systems - a Critical Review. National Lighting Conference 1988. s. 367-391.
- /45/ LEWIN, I. & HEINISCH, R. Lens Development for Improved Performance of Daylighting Systems. Journal of the Illuminating Engineering Society, (1990)winter, s. 100-109.
- /46/ LAMBERT, C.M. Physics and Engineering of Solar Optical Materials. Berkeley 1988. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California. 95 s.



- /47/ MARLAND, B. The Sunlight Factor; a Technique for Estimating Illuminance in Buildings from Sunlight in Clear Sky Conditions. CIE Proceedings 22nd session. Melbourne 1991 Australian National Committee on Illumination. Volume 1, s. 49-50.
- /48/ KOGA, Y; NAKAMURA, H. & ORSURU T. Prediction of Illuminance Distribution in Interiors Under Skylights. CIE Proceedings 22nd session. Melbourne 1991 Australian National Committee on Illumination. Volume 1, s. 120-121.
- /49/ Superlite 1.0. Berkeley 1985. University of California, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California. 215 s.
- /50/ NAVVAB, M. The Design, Development and Calibration of a Daylight Simulator. CIE Proceedings 22nd session. Melbourne 1991 Australian National Committee on Illumination. Volume 1, s. 13-14.
- /51/ Lämmöneristysmääräykset 1985. Helsinki 1984-04-04. Ympäristöministeriö, Kaavoitus- ja rakennusosasto, Suomen rakentamismääräyskokoelma. RT Rak MK-20553 C3.
- /52/ Ljuskällor. Osram, 1990. Tuote-esite.
- /53/ VUOLA, J. Valaistuksen säätö. 1991.
- /54/ DARRAGH, D. Simming Fluorescents: New Opportunities for the 1990's. Lighting Design + Application 20(1990)3, s. 21-23.
- /55/ Varsila M. Orno. Esitelmä 21.1.1992.
- /56/ Philips White Son. Philips. Tuote-esite.
- /57/ Valaistustekniikan käsikirja I. Helsinki 1977, Suomen Sähköurakoitsijaliitto RY ja Suomen Valoteknillinen Seura RY.
- /58/ Fair News '91. Osram, 1991. Tuote-esite.
- /59/ Sylvania: monimetallilamput. Sähköala 33(1991)10, s. 37.
- /60/ GOLDSTICK, K. & STARNER, C. Lighting up the Scoreboard. Lighting Design + Application 21(1991)8, s. 6-9.
- /61/ BENTON, C; FOUNTAIN, M; SELKOWOTZ, S. & JEWELL, J. Control System Performance in a Modern Daylighted Office Building. CIE Proceedings 22nd session Melbourne 1991. Melbourne 1991, Australian National Committee on Illumination. Volume 1, s. 31-34.
- /62/ OKI, M; NAKAMURA, H; RAHIM, M.R; SHIN, I & IWATA, T. Relative Sunshine Duration at Various Points in the World. CIE Proceedings 22nd session Melbourne 1991. Melbourne 1991, Australian National Committee on Illumination. Volume 1, s. 7-8.
- /63/ Technical Manual for HF Light-Regulating Ballasts. Philips lighting. Tuote-esite.
- /64/ Helvar sensor vakiovalojärjestelmä. 1982. 2. painos, Helvar. 25 s.
- /65/ KOPONEN, K. Lisäselvitys vakiovaloanturin CLD 100 sijoittamisesta, 1982. Helvar. 2 s.
- /66/ NAKAHARA. N. Guideline of Sensor Application to BEMS. 1990. Japan BEMS Committee, Sensor WG. draft version 2.0, s. 6-3 - 6-6.
- /67/ Valaistusjärjestelmien, valaistuksen ohjauksen ja säädön nykytila sekä merkitys sähköasennusjärjestelmän kehittämisessä. 1989. 8 s.



- /68/ Säädettävä elektroninen liitäntälaite loisteputkien korkealaatuiseen käyttöön. Helvar. Tuote-esite.
- /69/ Lightperfektion mit elektronischen betriebsgeräten. Osram. Tuote-esite.
- /70/ Energiataloudellinen toimistotalo. Helsinki 1984. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. Sarja D:72. 104 s.
- /71/ Glamox ulkovalaisimet. Tuote-esite 1988.
- /72/ ERCO valaisimet. Tuote-esite 1991/93.
- /73/ Louis Poulsen. Valaisinluettelo.
- /74/ Liitäntälaitekotelot. SLO-Valaistus, 1/89, s. 10/G9 .
- /75/ LAMPI, E. Koskikeskus - kauppakeskus. Sähköurakoitsija 30(1988)8, s. 38-40.
- /76/ HAMMARBERG, J. Tutustumiskäynti Helsinki-Vantaan lentoasemalla 7.4.1992.
- /77/ SÖRENSEN, P. Lameller för ljusreglering. Ljuskultur 63(1991)3, s. 30.
- /78/ Sensa. Orno. Tuote-esite.
- /79/ Aurinko tehokäyttöön. Tekniikka ja talous, 2.4.1990.
- /80/ Uima-allastilojen valaistusratkaisut. Hedengren valaistus 1991, tekninen raportti.

## LIITE 1      AURINGONKULKUKAAVIOITA JOILLEKIN SUOMEN PAIKKAKUNNILLE

Oheisissa kaavioissa on piirretty Auringon näennäinen paikka eri paikkakunnilla joka kuukauden 21. päivänä joka tunti. Paikkakunnat on luetteloitu alempana.  $\varphi$  tarkoittaa leveysastetta ja  $\lambda$  tarkoittaa pituusastetta itään Greenwichistä. Luvut on ilmoitettu asteina. Ajat ovat Suomen normaaliaikaa eli talviaikaa. Ympyröidyt tunnit on laskettu ylhäältä lukien 21. kesäkuuta eteenpäin. Esimerkiksi neljäs ympyrä on syyskuun 21. päivän kohdalla. Vastaavasti kuukaudet tammikuusta toukokuuhun ovat ilman ympyrää. Esimerkiksi 21.3. klo 11 Auringon atsimuutti on 172 astetta ja 21. syyskuuta 176 astetta. 9.4.1992 klo 12.00 Auringon korkeus on 35 astetta ja atsimuutti 155 astetta. Esimerkit on otettu Helsingin aurinkokuvasta.

Kun kaaviota pitää oikeassa asennossa pohjoinen pohjoiseen, näyttää keskellä olevasta rististä Aurinkoon piirretty suora sen todellisen suunnan ja korkeuden. Kaavioon voidaan piirtää ympärillä oleva maisema, jolloin voidaan määrätä Auringon näkyminen havaintopaikalla.

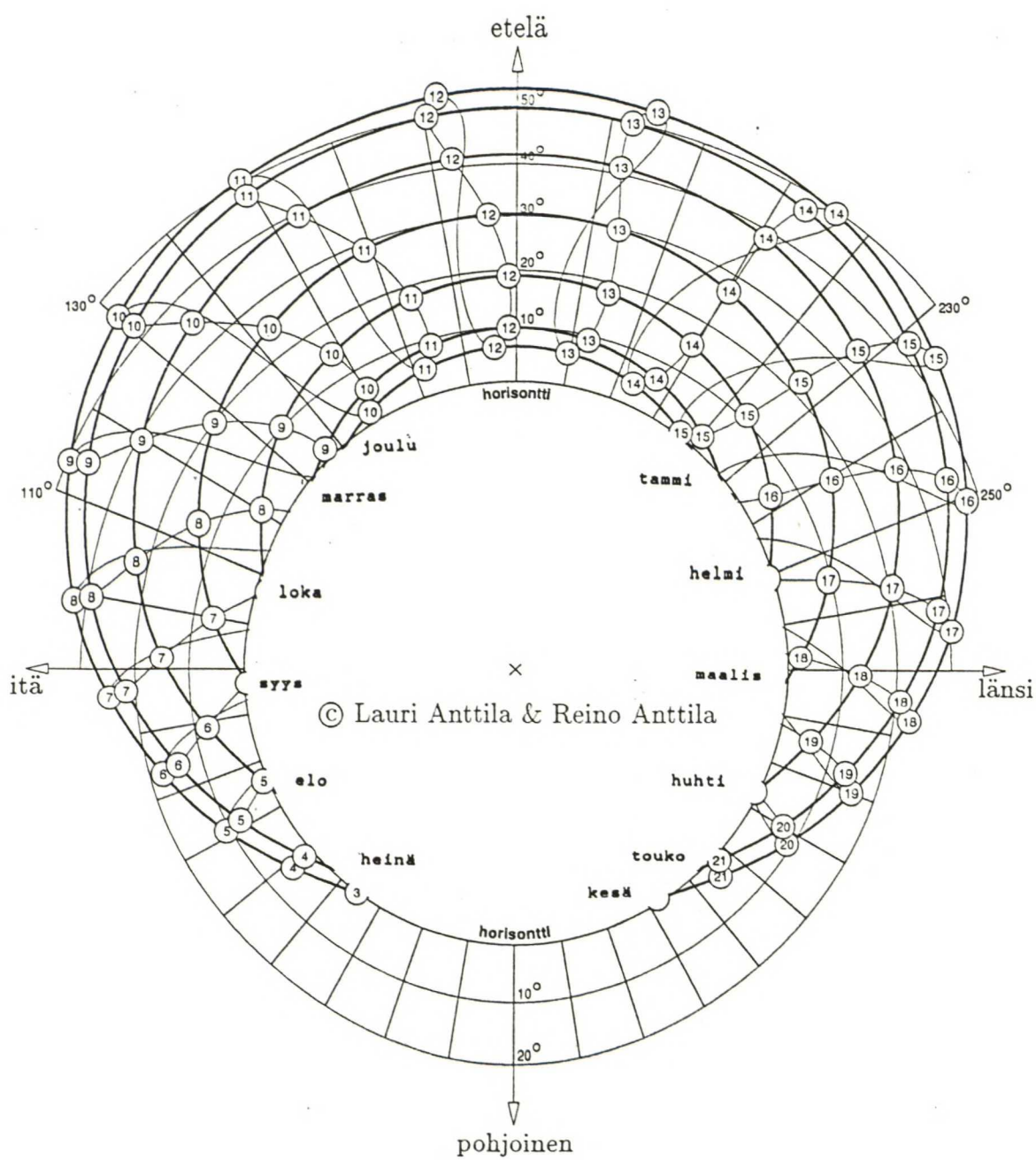
Kuvion ylälaidassa näkyy kahdeksikon muotoinen ns. analemma. Sen muoto johtuu siitä, että maapallon rata on ellipsi ja radan taso on 23,5 astetta kallellaan päiväntasaajaa kohtaan. Siksi Aurinko ei ole samassa suunnassa samaan aikaan vuoden eri aikoina. Analemma on miniatyyrialmanakka, jonka pisteen korkeus kertoo Auringon deklinaation, ja pituus kertoo, paljonko Aurinko edistää tai jätättää verrattuna keskiaurinkoaikaan.

Kaavion on suunnitellut Lauri Anttila Auringon radan laskenut Reino Anttila.

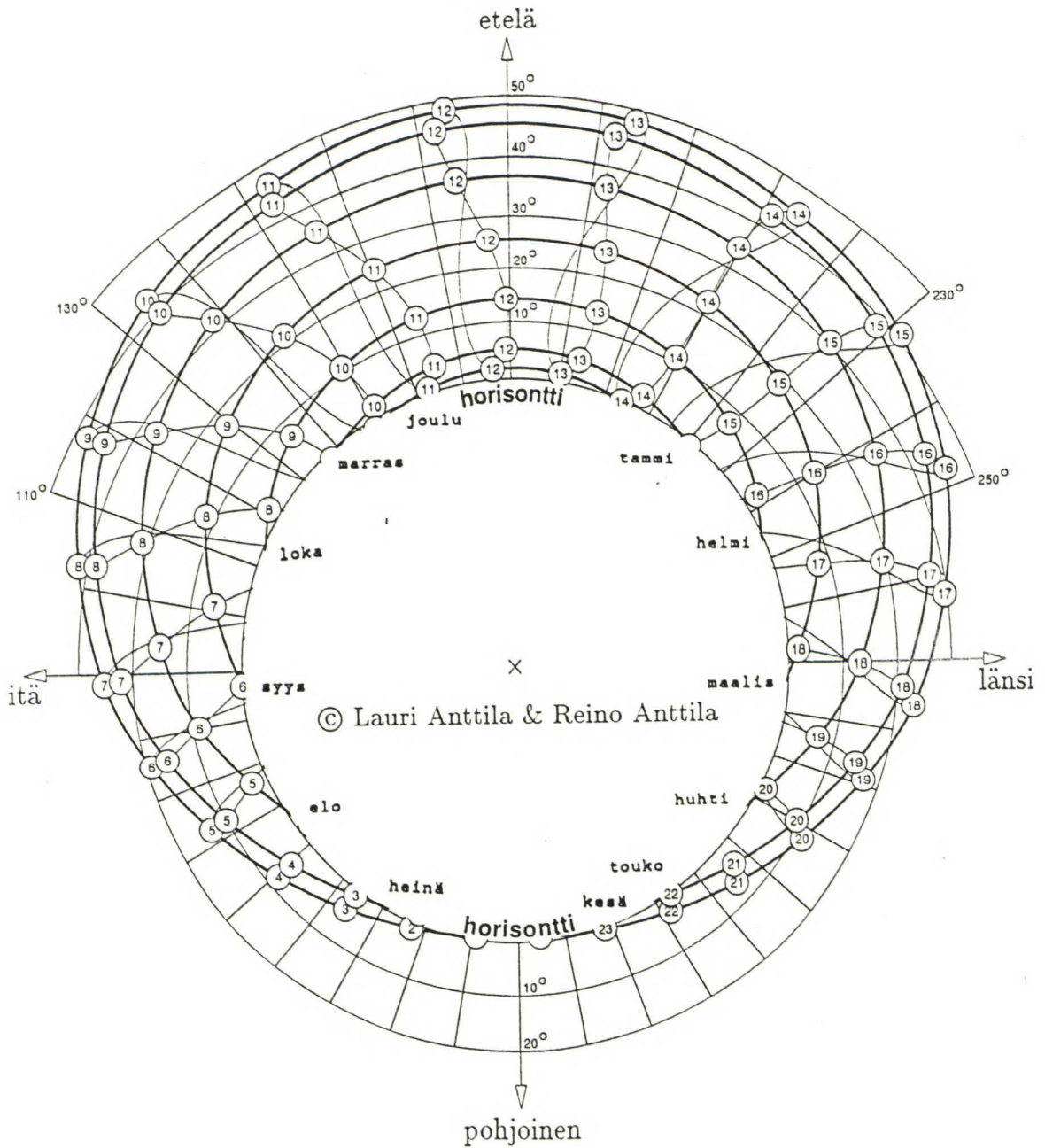
Paikkakunta	$\varphi$	$\lambda$
Helsinki	60.162	24.95
Oulu	65.017	25.50
Utsjoki	69.867	27.00
Maarianhamina	60.087	19.95
Ilomantsi	62.677	30.94



# AURINGON NÄENNÄINEN LIIKE HELSINGISSÄ

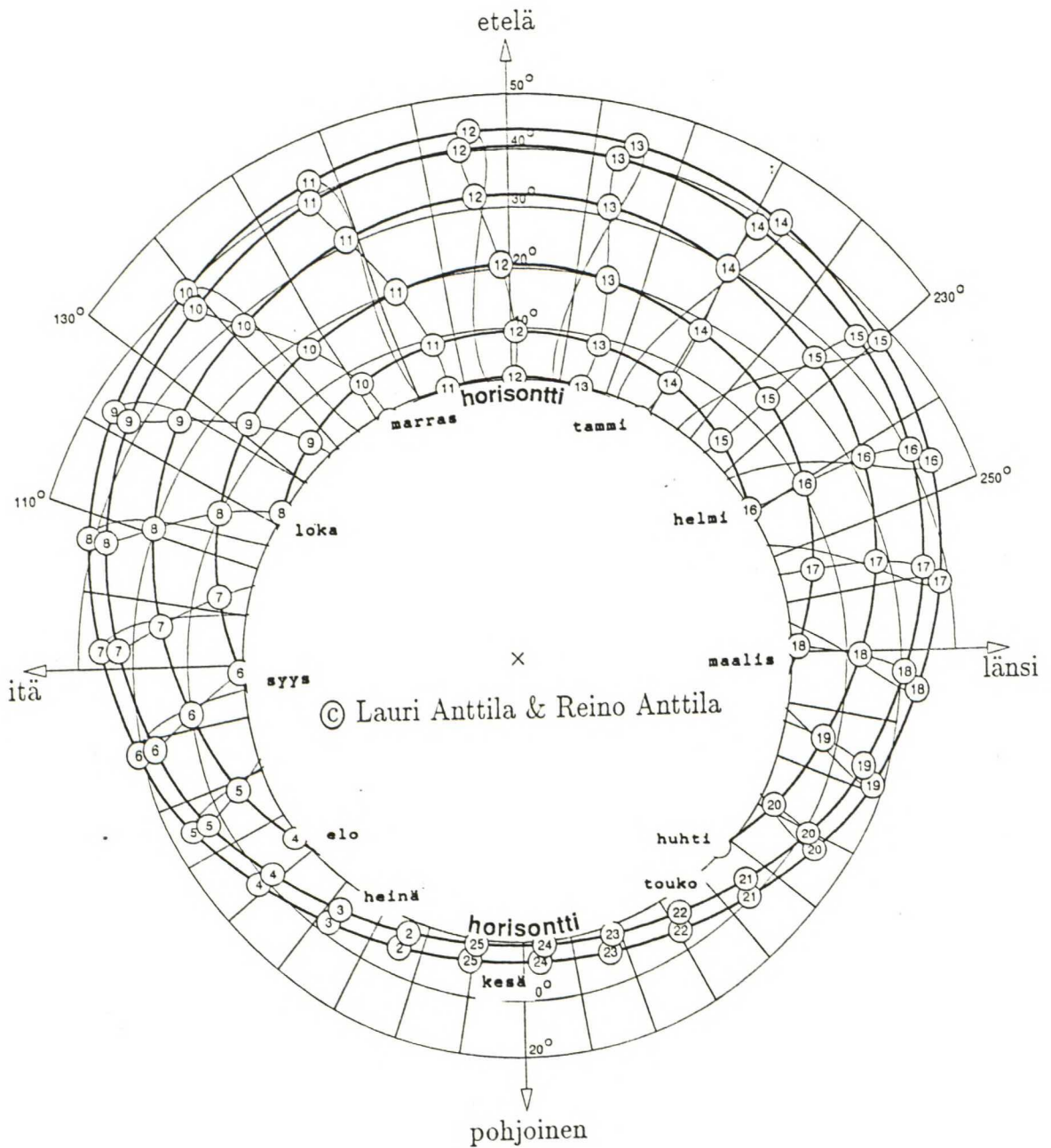


# AURINGON NÄENNÄINEN LIIKE OULUSSA

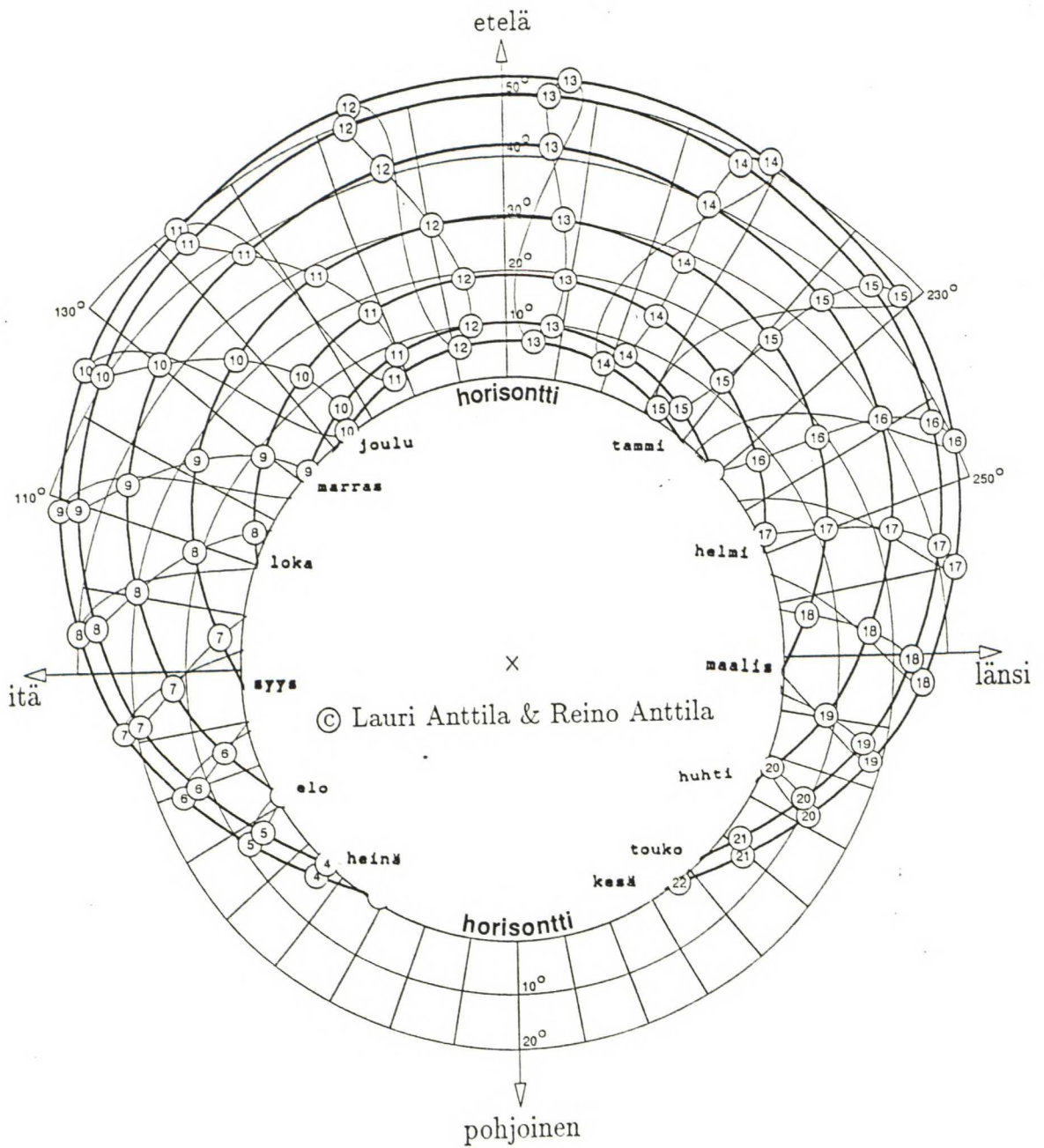




# AURINGON NÄENNÄINEN LIIKE UTSJOELLA

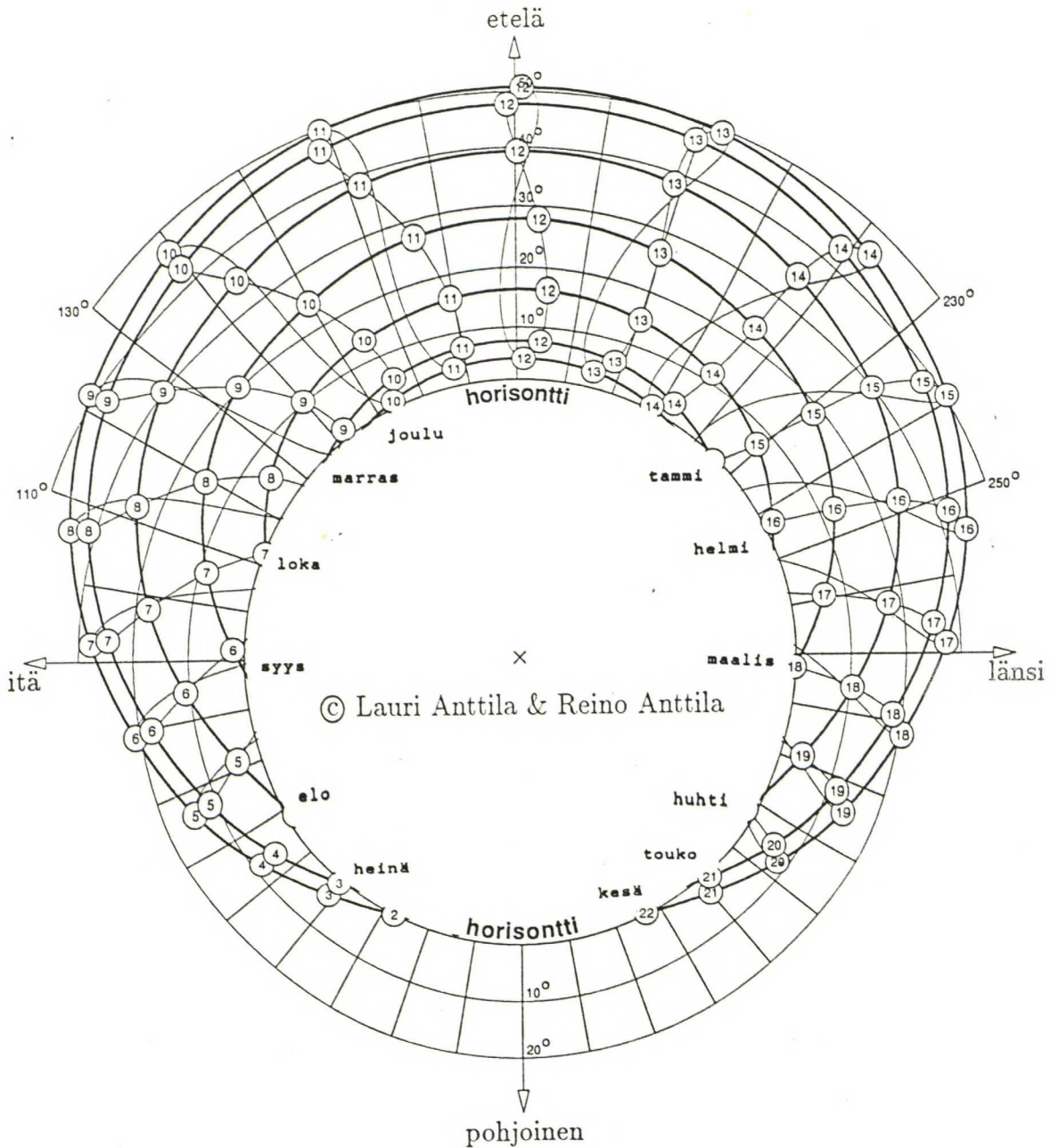


# AURINGON NÄENNÄINEN LIIKE MAARIANHAMINASSA



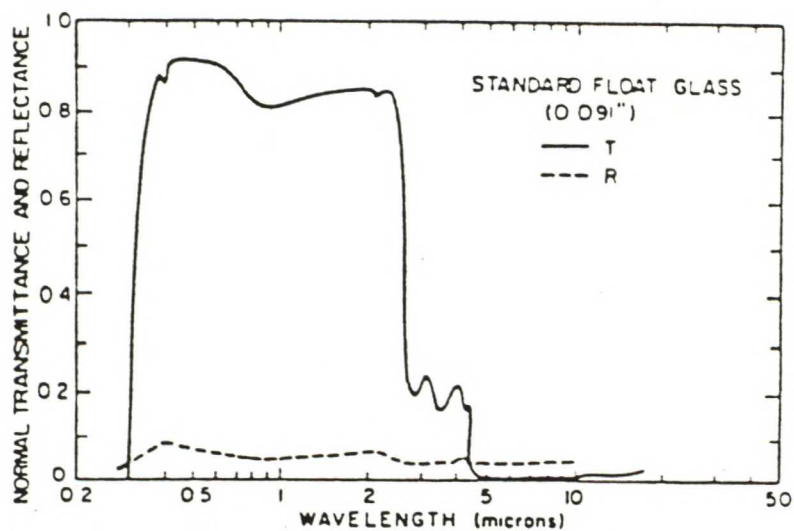


# AURINGON NÄENNÄINEN LIIKE ILOMANTSISSA

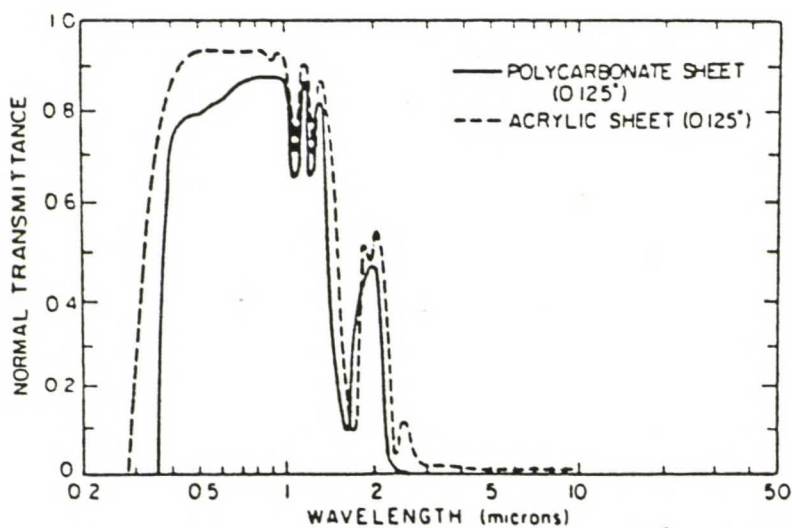


# LIITE 1. VALOKATEMATERIAALIEN SPEKTREJÄ

Tässä liitteessä on esitetty joidenkin valokatemateriaalien läpäisy- ja heijastusspektrejä kohtisuoraan materiaalia kohden tulevalle valonsäteelle.

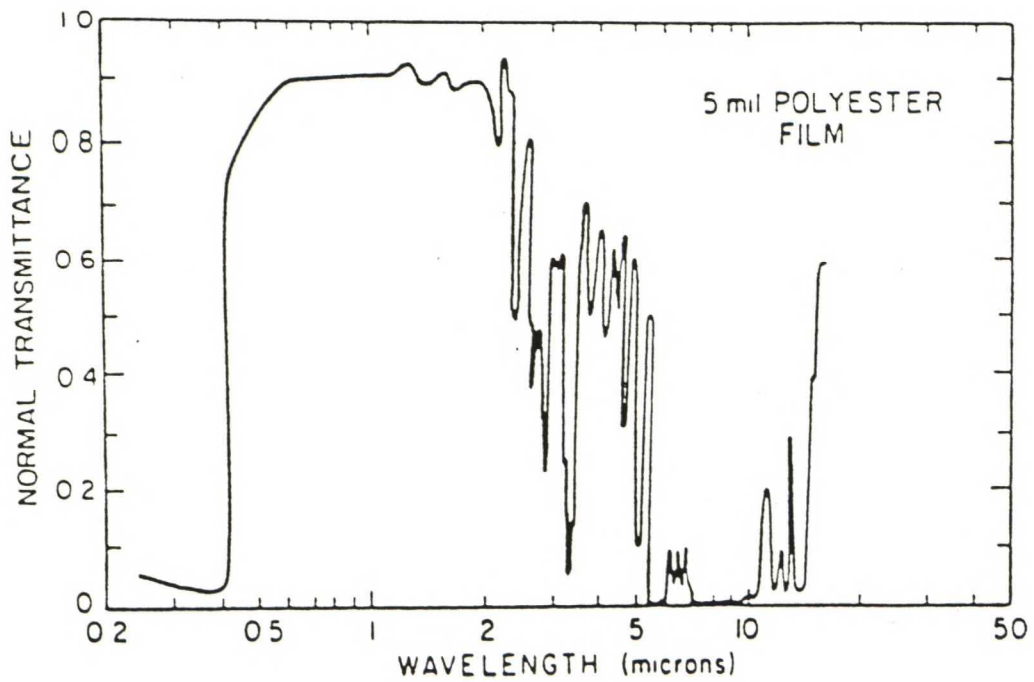


Kuva 1 Kirkkaan float-lasin läpäisy- (T) ja heijastusspektrit (R). /40/

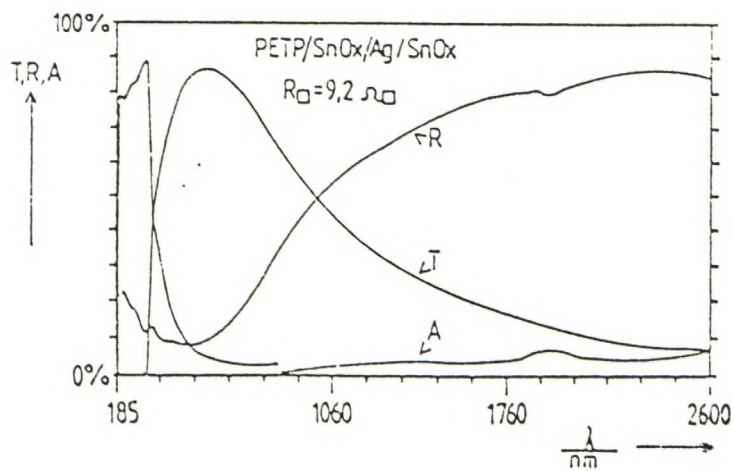


Kuva 2 Polykarbonaatin ja akryylin läpäisyspektrit. /40/

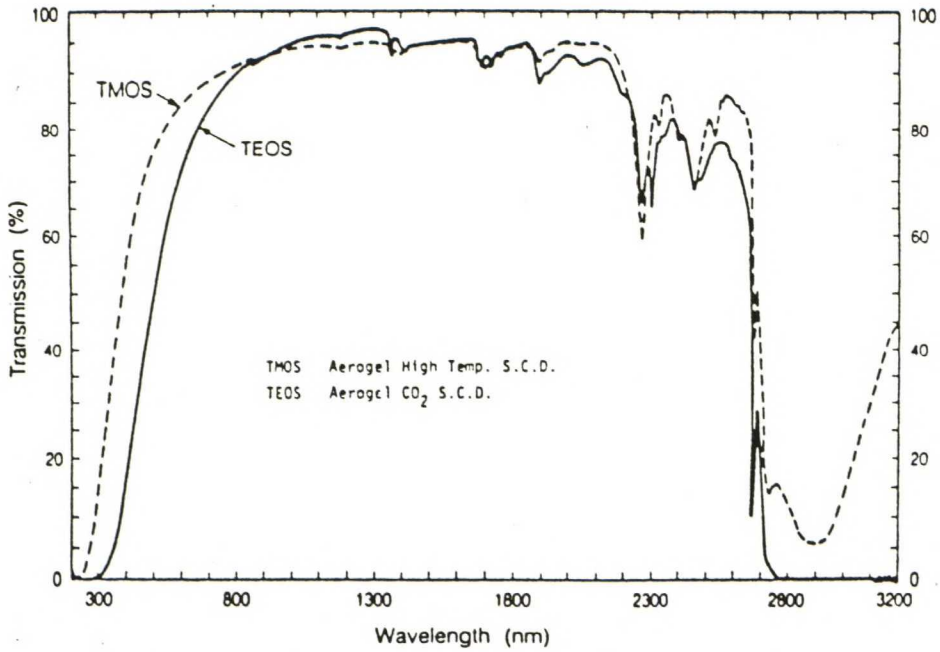




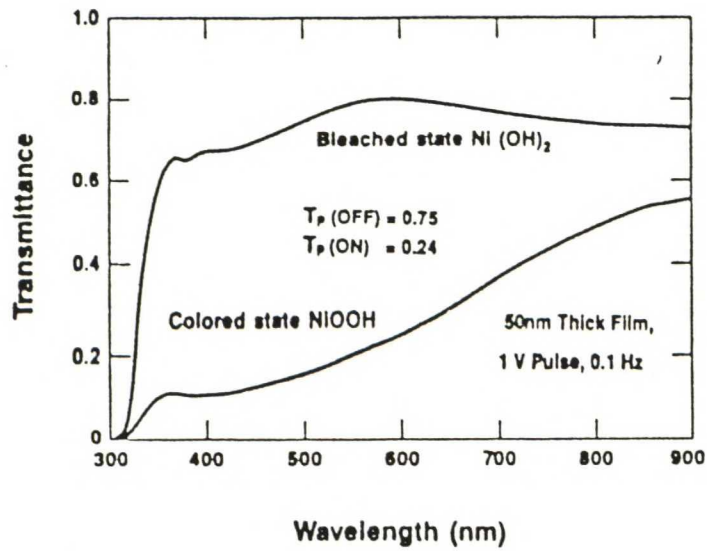
Kuva 3 Polyesterikalvon läpäisyspektri. /40/



Kuva 4 Pinnoitetun PETP-kalvon läpäisy- (T), heijastus- (R) ja absorptiospektrit (A). /28/



Kuva 5 Kahden eri menetelmällä piistä valmistetun aerogelin säteilynläpäisy spektrit. /40/



Kuva 6 Nikkelihydroksidiin perustuvan elektrokromaattisen aineen säteilynläpäisy spektri. /40/



## LIITE 3 PÄIVÄNVALOSUHDEN MENETELMÄ

Päivänvalosuhdemenetelmä on yleisimmin käytetty päivänvalon laskentamenetelmä. Se on CIE:n suosittelema ja menetelmää on jo vuosikymmenien ajan jatkuvasti kehitetty monipuoliseksi ja tarkaksi menetelmäksi. Päivänvalosuhde määrittellään päivänvalon sisällä työpöydälle aiheuttaman valaistusvoimakkuuden suhteena vaakatason valaistusvoimakkuuteen puolipallon muotoisen vapaan taivaan alla. Alunperin päivänvalosuhde kehitettiin vain pilvisen taivaan olosuhteille, koska pilvisellä säällä valaistusvoimakkuus sisällä muuttuu samassa suhteessa kuin ulkona. Pilvisen taivaan päivänvalosuhde onkin riippumaton vuoden- ja kelloajoista. Viimeaikoina menetelmään on lisätty kirkkaan taivaan aiheuttaman päivänvalosuhteen laskenta. Siten menetelmä on käyttökelpoinen myös alueilla, joilla kirkas taivas on vallitseva. Suoran auringonvalon komponenttia ei menetelmällä voida laskea. Tässä esitetyt yhtälöt olettavat, että pilvisen taivaan luminanssijakauma on CIE:n standardoiman tasaisesti pilvisen taivaan luminanssijakauman mukainen ja kirkkaan taivaan luminanssijakauma on CIE:n mukaisen kirkkaan taivaan luminanssijakauman mukainen. Päivänvalosuhteet voitaisiin laskea myös tasaisesta pilvisen ja kirkkaan taivaan luminanssijakaumasta sekä horisontaalisen pinnan kokonaisvalaistusvoimakkuudesta ulkona, mutta ne johtavat toisenlaisiin yhtälöihin.

Päivänvalosuhde, (DF), muodostuu kolmesta päivänvalon komponentista sekä huoneen likaantumisen ja lasin ominaisuudet huomioivista kertoimista:

$$DF = (SC + ERC + MF \text{ IRC}) C_g \quad (1)$$

missä

- SC on taivaanvalon komponentti (sky component)
- ERC on ulkopuolisten heijastumisien komponentti (external reflectance component)
- IRC on sisäpuolisten heijastumisien komponentti (internal reflectance component)
- MF on huonepintojen puhdistamistaajuudesta riippuva alenemakerroin (maintenance factor)
- $C_g$  on lasin valonläpäisystä, likaantumisesta ja ikkunapuitteiden koosta riippuva kerroin

$$C_g = T_g / 0,85 * D_g * F_g \quad (2)$$

missä

- $T_g$  on lasin valonläpäisy
- $D_g$  on lasin likaantumisen aiheuttama alenemakerroin
- $F_g$  on alenemakerroin, joka huomioi ikkunapuitteiden valoa läpäisevää pinta-alaa vähentävän vaikutuksen

Pilvisen taivaan olosuhteissa saadaan:

Taivaanvalon komponentti saadaan integroimalla taivaan luminanssijakauma (yhtälö 3) ikkunasta näkyvän taivaan osalta.

$$L_{\alpha} \sim \frac{1 + 2 \sin \alpha}{3} L_z \quad (3)$$

Monimutkaisen laskutoimituksen tulokseksi on saatu siviikkunalle

$$SC = \frac{3}{14\pi} (\phi - \phi_1 \cos \theta) + \frac{2}{7\pi} \arcsin (\sin \phi \sin \theta) - \frac{1}{7\pi} \sin 2\theta \sin \phi_1 \quad (4)$$

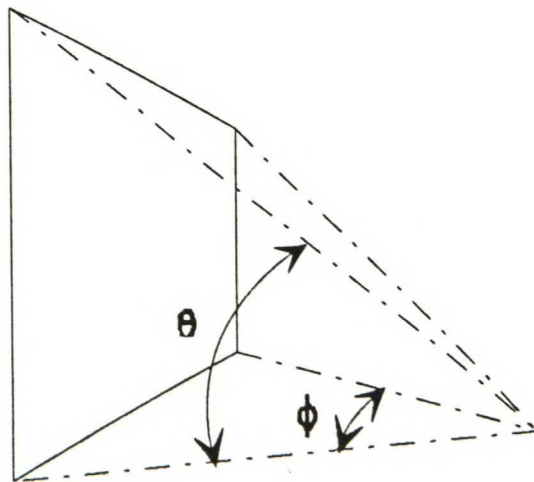
ja kattoikkunalle

$$SC = \frac{3}{14\pi} [\phi_1 \sin \theta + \theta_1 \sin \phi + \frac{1}{7} + \frac{1}{7\pi} (\sin 2\phi \sin \theta_1 + \sin 2\theta \sin \phi_1)) - \frac{2}{7\pi} \arcsin(\cos \alpha \cos \theta)] \quad (5)$$

$$\alpha = \arctan \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \quad (6)$$

missä

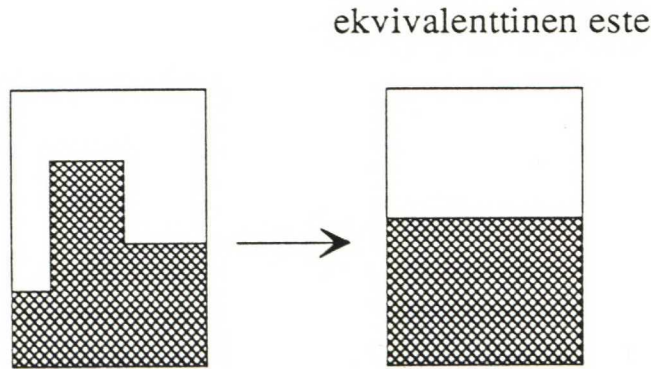
$\theta$  ja  $\phi$  ovat laskentapisteestä mitattuja, ikkunasta näkyvää taivasta kuvaavia kulmia kuvan 1 mukaan määriteltynä [°]



Kuva 1 Taivaan näkymistä kuvaavien kulmien  $\phi$  ja  $\theta$  määrittelyminen.



Ulkopuoliset, taivaan näkymistä rajoittavat esteet huomioidaan muodostamalla kuvan 2 mukaisesti ekvivalenttinen este ja vähentämällä kulmaa  $\phi$  estettä vastaavasti.



Kuva 2 Ulkopuoliset esteet tulee päivänvalosuhdemenetelmässä jakaa ekvivalenttiseksi esteeksi. /3/

Ulkopuolisten heijastumisen komponentilla on merkitystä yleensä vain, jos ikkunasta ei ole lainkaan näkymää taivaalle. Kallistetuille ja vaakasuorille ikkunoille ei ulkopuolisen heijastumisien komponenttia tarvitse huomioida. Ulkopuoliset esteet ja ekvivalenttinen este määritellään yleensä huoneen keskipisteestä tarkastellun näkymän mukaisesti kaikille tarkastelupisteille samaksi. Ulkopuolinen heijastumisen komponentti lasketaan ekvivalenttisen esteen peittämän taivaan osan tuottamasta päivänvalosuhteen komponentista (kaavat 4 ja 5) ja kaavasta 7

$$ERC = SC \rho_{ave} \quad (7)$$

missä

SC on ekvivalenttisen esteen peittämän taivaan tuottama päivänvalosuhteen komponentti

$\rho_{ave}$  on ulkopuolisten esteiden keskimääräinen heijastuskerroin

Usein oletetaan, että sisäpuolisten heijastusten komponentti on lähes samansuuruinen kaikkialla huoneessa ja lasketaan keskimääräinen sisäpuolisten heijastusten komponentti,  $IRC_{ave}$ . Yleisin tapa laskea keskimääräinen sisäpuolisten heijastusten komponentti siviikkunoille on jakaa huone ylä ja alaosaan ikkunan keskipisteestä kuvan 3 mukaan. Yhtälöksi saadaan

$$IRC_{ave} = \frac{T_g A_g}{A_r (1 - R_r)} (C_1 R_l + C_2 R_u) \quad (8)$$

missä

$T_g$  on ikkunan valonläpäisy

- $A_g$

$A_r$

$C_1$  ja  $C_2$

$R_r, R_l$  ja  $R_u$

on ikkunan pinta-ala

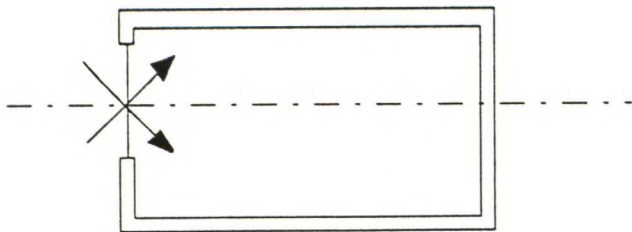
on huonepintojen pinta-ala

ovat kertoimia, jotka huomioivat ulkoiset esteet ja maan heijastumiskertoimen. Kertoimet saadaan taulukoista 1 ja 2.

ovat kaikkien huonepintojen, huoneen alaosan ja huoneen yläosan huonepintojen keskimääräiset heijastumissuhteet. Keskimääräinen heijastumissuhde lasketaan yhtälöstä 9

$$R = \frac{\sum \rho_i A_i}{\sum A_i}$$

(9)



Kuva 3 Huoneen jakaminen ylä- ja alaosaan ikkunan keskikohdasta keskimääräisen IRC:n laskemiseksi. /3/

Taulukko 1 Kerroin  $C_1$  IRC<sub>ave</sub>:n laskemiseksi pilvisen taivaan olosuhteissa. /3/

esteen koko* °	$C_1$
ei estettä	39
10	35
20	31
30	25
40	20
50	14
60	10
70	7
80	5

\*mitattuna ikkunan keskikohdasta ylöspäin huoneen keskipisteestä katsottuna



Taulukko 2      Kerroin  $C_2$   $IRC_{ave}$ :n laskemiseksi pilvisen taivaan olosuhteissa.  
/3/

Maan keskimääräinen heijastuskerroin / %	$C_2$
10	5
20	10
30	15
40	20
50	25
60	30
70	35
80	40

Kattoikkunoille saadaan

$$IRC_{ave} = A_g \frac{R_r}{A_r} (1 - R_r) K \tag{10}$$

$$K = C_3 \frac{T_g}{0,85} \tag{11}$$

Kerroin  $C_3$  saadaan taulukosta 3, 4 tai 5.

Taulukko 3      Kerroin  $C_3$   $IRC_{ave}$ :n laskemiseksi  $30^\circ$  kallistetulle ikkunalle  
pilvisen taivaan olosuhteissa. /3/

Esteen koko ( $\theta$ ) kallistetun ikkunan keskeltä mitattuna / °	$C_3$					
	Esteen koko ( $\phi$ ) / °					
	< 30	40	50	60	70	80
0	82	82	81	79	74	69
10	81	80	80	77	73	67
20	78	78	77	74	70	64
30	74	73	72	70	66	60
40	68	68	67	64	60	54
50	61	61	60	58	53	48
60	54	54	53	50	46	40
70	46	45	45	42	38	32
80	37	37	36	33	29	23

Taulukko 4 Kerroin  $C_3$  IRC<sub>ave</sub>:n laskemiseksi 60° kallistetulle ikkunalle pilvisen taivaan olosuhteissa. /3/

Esteen koko ( $\theta$ ) kallistetun ikkunan keskeltä mitattuna / °	$C_3$		
	Esteen koko ( $\phi$ ) / °		
	< 60	70	80
0	70	70	68
10	65	65	64
20	59	59	58
30	52	52	51
40	44	44	43
50	36	36	34
60	28	28	26
70	21	21	20
80	16	16	15

Taulukko 5 Kerroin  $C_3$  IRC<sub>ave</sub>:n laskemiseksi horisonaaliselle ikkunalle pilvisen taivaan olosuhteissa. /3/

Esteen koko ( $\theta$ ) kallistetun ikkunan keskeltä mitattuna / °	$C_3$								
	Esteen koko ( $\phi$ ) / °								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0	88	87	87	85	82	78	72	65	57
10	87	87	87	85	82	77	71	64	56
20	87	87	86	85	82	77	71	64	56
30	85	85	85	83	80	75	69	62	54
40	82	82	82	80	77	72	66	59	51
50	78	77	77	75	72	68	62	54	47
60	72	71	71	69	66	62	56	48	41
70	65	64	64	62	59	54	48	41	33
80	57	56	56	54	51	47	41	33	25

Kirkaan taivaan luminanssijakauma riippuu auringon asemasta ja siksi sen aiheuttama päivänvalosuhte on vaikeampi laskea kuin pilvisen taivaan aiheuttama päivänvalosuhte. Pilvisen taivaan aiheuttama päivänvalosuhte on vuorokauden- ja vuodenajasta riippumatta aina sama, kun taas kirkkaan taivaan päivänvalosuhte on laskettava eri auringonkorkeuksille.

**Kirkkaan taivaan** aiheuttama päivänvalokertoimen komponentti siviikkunoille saadaan yhtälöstä



$$\begin{aligned}
 SC = 1,018 T_o \int \int_{\theta \phi} \frac{\sin^2 \theta \cos \theta \cos^3 \phi}{r^{5/2}} \\
 + \left[ 1 + \left( \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \phi (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{r} \right)^{3/2} \right] \\
 + (1 - e^{-0,32r/[2(\cos \theta - \cos \phi)]}) (0,91 + 10e^{-3\Delta} \\
 + 0,45 \cos^2 \Delta) d\theta d\phi
 \end{aligned} \quad (12)$$

missä

$$r = \cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \theta \quad (13)$$

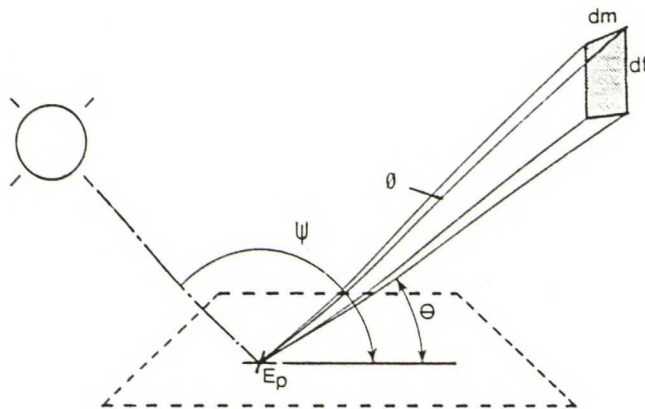
$$\Delta = \frac{2}{r} [\sin \theta \sin \phi_s \cos(N + P_w + P_s) + \cos \theta \cos \phi_s \cos \phi] \quad (14)$$

$$T_o = 1,018 T_g \cos i (1 + \sin^3 i) \quad (15)$$

$N$  on auringon korkeudesta riippuva normalisointikerroin taulukosta 6

$P_w$  ja  $P_s$  ovat pinnan ja auringon suunnat ilmansuuntiin nähden (etelä = 0) [°]

Yhtälöiden 12 ja 13 kulmat määritellään kuvan 4 mukaan.



Kuva 4 Kulmakoordinaattien määrittäminen kirkkaan taivaan tuottaman päivänvalosuhteen laskemiseksi. Kuvassa dm, df on ikkuna,  $E_p$  on tarkastelupiste. /3/

Taulukko 6 Normalisointikertoimet N SC:n laskemiseksi kirkkaan taivaan olosuhteissa. /3/

Auringon korkeus / °	N
10	0,03654
20	0,03565
30	0,03235
40	0,02741
50	0,02178
60	0,01632
70	0,01159
80	0,00782
90	0,00503

Ulkopuolisista heijastumisien komponentti lasketaan samalla periaatteella kuin pilvisen taivaan olosuhteissa esteiden peittämän taivaan valon aiheuttamasta komponentista yhtälöstä 7.

Sisäpuolisten heijastumisien komponentti voidaan laskea kuten pilvisen taivaan olosuhteissa yhtälöstä 8 vaihtamalla kertoimet  $C_1$  ja  $C_2$  kertoimiin  $C_4$  ja  $C_5$ . Kerroin  $C_4$  saadaan taulukosta 7 Kerroin  $C_5$  lasketaan yhtälöstä

$$C_5 = 100 \frac{0,5 E_{GH,c} \rho_g}{E_{dH,c}} \quad (16)$$

missä

$E_{GH,c}$  on horisontaalin pinnan kokonaisvalaistusvoimakkuus ulkona vapaan, kirkkaan taivaan alla

$E_{dH,c}$  on horisontaalin pinnalle hajavalon tuottama valaistusvoimakkuus ulkon vapaan, kirkkaan taivaan alla

$\rho_g$  on maan heijastuskerroin



Taulukko 7 Kerroin  $C_4$   $IRC_{ave}$ :n laskemiseksi kirkkaan taivaan olosuhteissa. /3/

Auringon korkeus / °	Ikkunan suuntakulma vaakasuorassa aurinkoon nähden				
	0°	45°	90°	135°	180°
10	154	123	65	50	51
20	141	113	60	45	44
30	123	100	56	41	40
40	105	87	52	38	37
50	89	75	49	37	35
60	74	65	47	37	35
70	62	56	45	38	36
80	52	49	44	40	39
90	44	44	44	44	44

Huonepintojen puhdistamisesta riippuvalle kertoimelle MF on lueteltu rakennuksen luonteen mukaan arvoja taulukossa 8. Puhdistuksen on oletettu tapahtuvan kolme kertaa vuodessa. Puhdistuskertojen vaikutus kertoimeen saadaan taulukossa 9 olevasta muunnostaulukosta.

Taulukko 8 Taulukko huoltokertoimen, MF ja likaantumiskertoimen  $D_g$  määrittämisesksi erilaisille tiloille. /3/

Tilan käyttötarkoitus	MF	Likaantumiskerroin, $D_g$				
		Ikkunan kallistuskulma				
		0°	30°	45°	60°	90°
<b>Julkinen rakennus</b>						
Auditorio	0,85	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Autotalli	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Elintarvikeliike	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Hotelli, aula	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Hotellihuone	0,80	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
Huoltoasema	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Kampaaja	0,70	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Kauneushoitola	0,70	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Keittiö	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Kirjasto	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Kirkko	0,80	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
Koulu	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Kunnallinen virasto	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Liiketila	0,80	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Neuvotteluhuone	0,70	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
Näyteikkuna	0,80	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Näyttelysali	0,70	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
Oikeuden istuntosali	0,80	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Pankki	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
Piirustussali	0,80	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
Ravintola	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55

		Likaantumiskerroin, $D_g$				
		Ikkunan kallistuskulma				
Tilan käyttötarkoitus	MF	0°	30°	45°	60°	90°
Sairaanhoito	0,90	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
Taidegalleria	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Tanssisali	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Terminaali	0,50	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Toimisto	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Urheilusali	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Varasto	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
<b>Asuinrakennus</b>	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
<b>Teollisuusrakennus</b>						
Autojen valmistus	0,65	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
Betonitehdas	0,50	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Kemikaalitehdas	0,55	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
Kirjapaino	0,55	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
Kokoonpano puhdas	0,80	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Kokoonpano likainen	0,50	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Leipomo	0,70	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Lentokoneiden valmistus	0,75	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
Lihan pakkaamo	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Maalin valmistus	0,50	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Makeistehdas	0,80	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Meijeri	0,80	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55
Mylly	0,55	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
Olutpanimo	0,75	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
Paperitehdas	0,50	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Pesula	0,65	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
"Puhdas huone"	0,85	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Purkitus	0,70	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
Saha	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Tekstiiliteollisuus	0,70	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
Vaatteiden valmistus	0,70	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
Valimo	0,50	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
Varasto	0,60	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45

Taulukko 9 Puhdistuskertojen vaikutus kertoimiin MF ja  $D_g$ . /3/

Puhdistuskertojen väli	Muutokset kertoimiin MF ja $D_g$
kuukausi	+0,05...+0,10
kaksi kuukautta	+0,00...+0,05
neljä kuukautta	0
puoli vuotta	-0,00...-0,10
vuosi	-0,10...-0,15
ei lainkaan siivousta	taulukon 8 arvo / 2



Päivänvalon läpäisyä vähentävistä kertoimista lasketaan kerroin  $C_g$  aiemmin jo esitetystä yhtälöstä 2. Lasin valonläpäisykerroin saadaan lasien valmistajilta. Likaantumisen aiheuttama alenemakerroin saadaan taulukoista 6 ja 7 samalla tavalla kuin kerroin MF. Kertoimeen  $D_g$  vaikuttaa myös ulkopuolinen likaantuminen, mikä voidaan huomioida taulukon 10 avulla. Ikkunapuitteiden valonläpäisyä vähentävä vaikutus lasketaan yhtälöstä 17.

$$F_g = \frac{A_a - A_f}{A_a} \quad (17)$$

missä

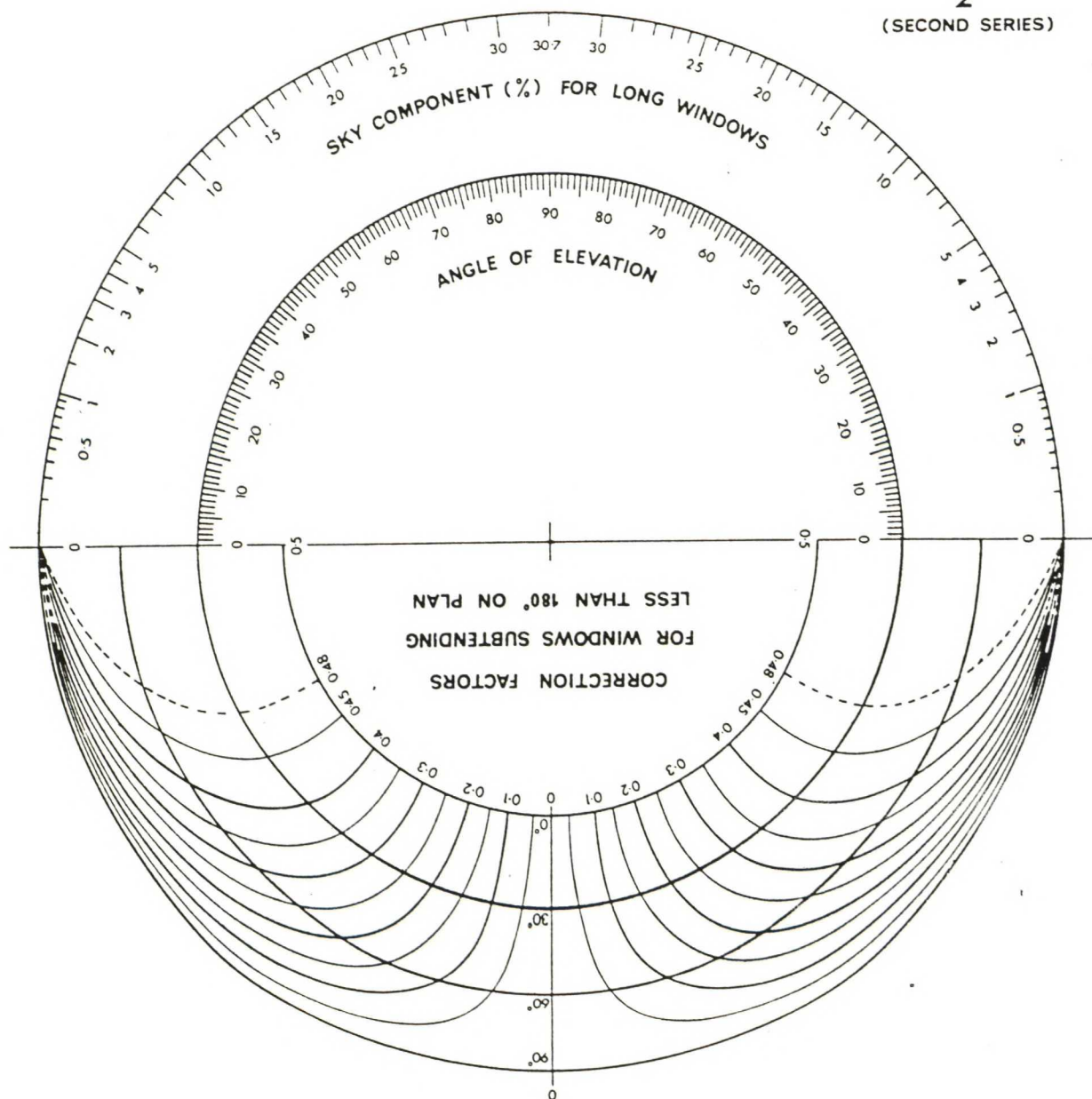
$F_g$  on ikkunapuitteiden aiheuttava alenemakerroin  
 $A_a$  ja  $A_f$  ovat ikkunan ja ikkunapuitteiden pinta-alat

Taulukko 10 Ympäristön vaikutus kertoimeen  $D_g$ . /3/

Ympäristö	Muutos kertoimeen $D_g$
Maaseutu	+0,10...+0,15
Esikaupunki	+0,00...+0,10
Kaupunki	0
Teollisuusalue	-0,00...-0,10

Päivänvalosuhteen määrittämiseksi on kehitetty myös graafisia menetelmiä. Graafisten menetelmät ovat yksinkertaisia ja nopeita käyttää ja niitä käytetäänkin varsin paljon. Graafisista menetelmistä tunnetuin on BRE:n (Building Research Establishment, Englanti) kehittämä menetelmä pilvisen taivaan aiheuttaman päivänvalosuhteen määrittämiseksi. Menetelmässä käytetään kuvan 5 mallista kiekkoa. Pystysuoralle,  $30^\circ$  ja  $60^\circ$  kallistetulle, vaakasuoralle ja lasittomalle aukolle on kullekin oma kiekkonsa. Lähtökohtana voi olla CIE:n standardoitu tasaisesti pilvinen taivas tai tasaisen luminanssijakautuman pilvinen taivas, joille molemmille on oma viiden kiekon sarjansa. Alunperin kiekot on määritelty yksiläiselle ikkunalle. Ruotsissa on kehitetty vastaavat kiekot 2-lasiselle ikkunalle. Kiekko on jaettu kahteen osaan, jolla toisella analysoidaan aukkoa pystysuoraan ja toisella vaakasuoraan. Kiekkojen avulla voidaan määrittää SC ja ERC.

2  
(SECOND SERIES)

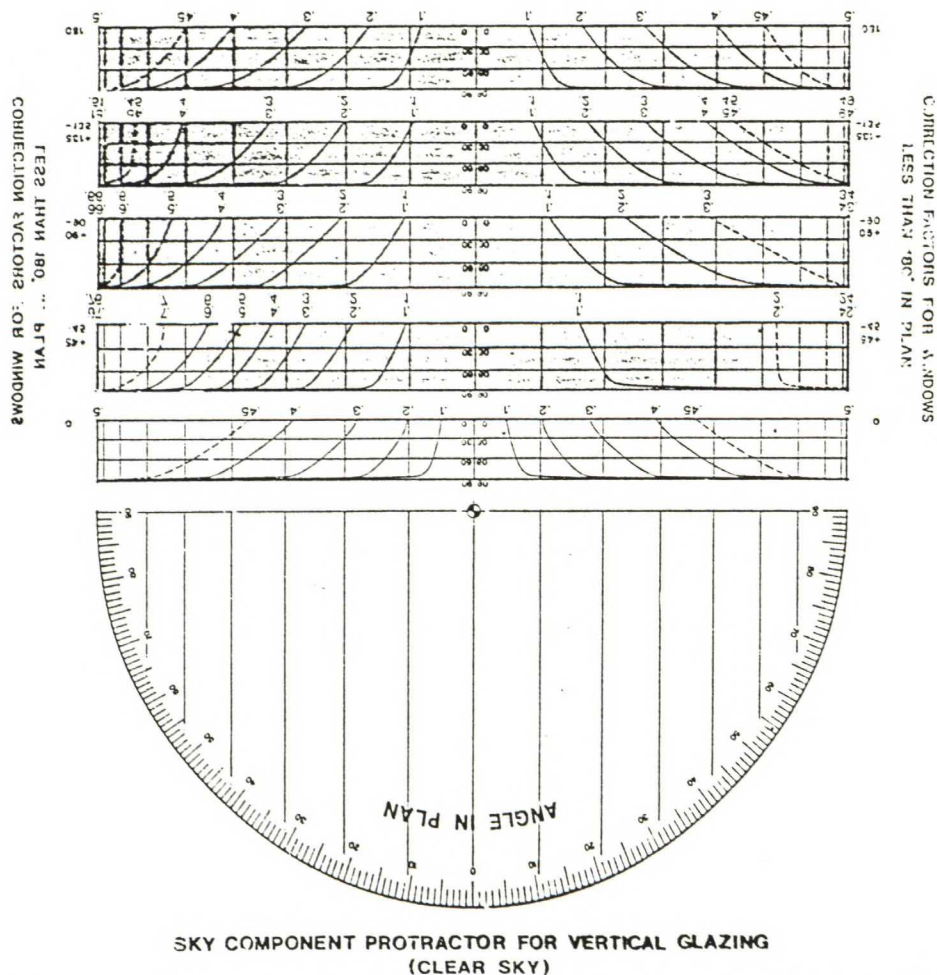
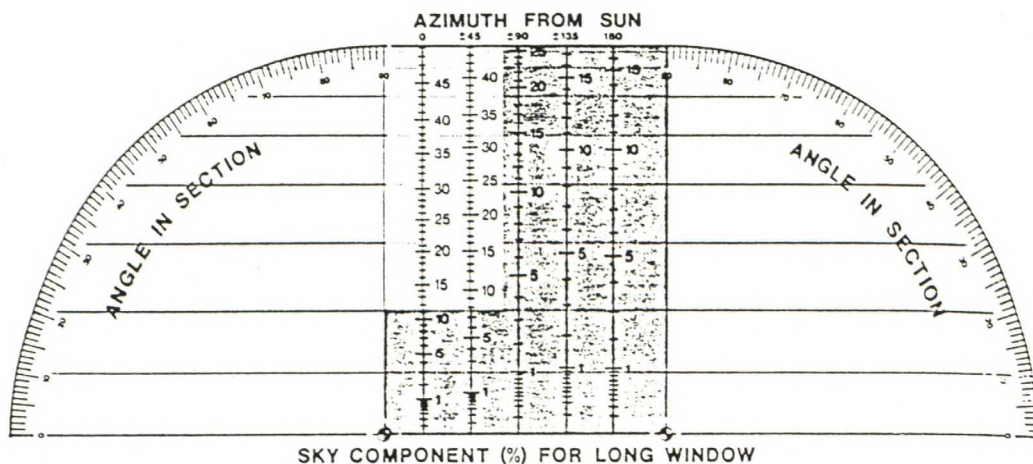


B.R.S. SKY COMPONENT PROTRACTOR FOR VERTICAL GLAZING  
(C.I.E. OVERCAST SKY)

Kuva 5 BRE:n graafisen päivänvalosuhteen määrittämismenetelmän kiekko. /3/

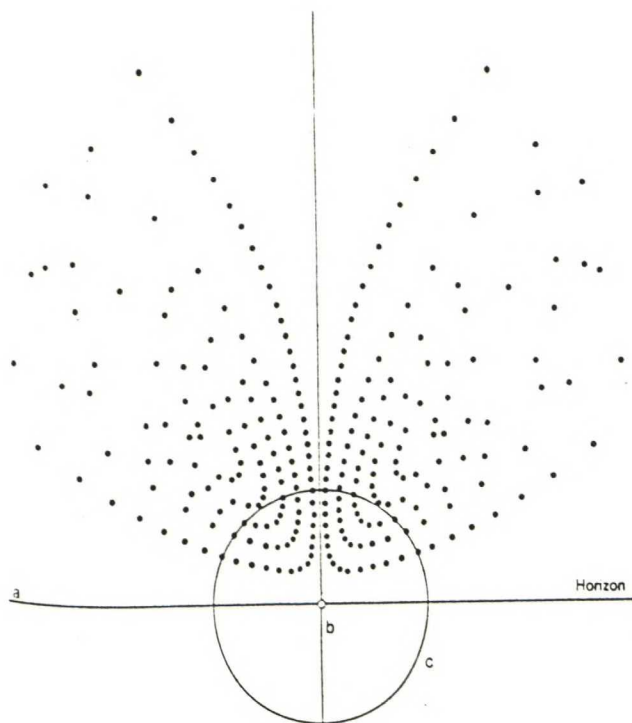
Bryanin menetelmässä on kiekot myös kirkkaan taivaan tuottamien SC:n ja ERC:n määrittämiseksi. Kiekot on alunperin kehitetty BRE:n kiekkoista, mutta kiekkojen lukumäärän vähentämiseksi on niiden ulkomuotoa jouduttu hieman muuttamaan (kuva 6) Menetelmä on uusin graafinen menetelmä.



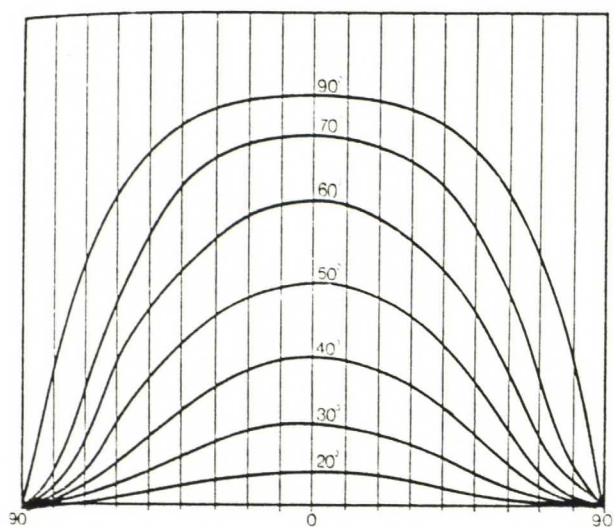


Kuva 6 Bryanin graafisen päivävalosuhteen määrittämismenetelmän kiekko. /3/

Pilkintonin pistediagrammissa (Pilkinton sky dot diagram) taivas jaetaan pisteisiin, joista kukin vastaa 0,1 % taivaan tuottamasta komponentista, SC (kuva 7). Taivaan pistekaavion päälle voidaan piirtää erilaisia ikkunoita ja helposti arvioida, miten ikkunan muuttaminen vaikuttaa päivänvaloon. Waldramin diagrammi on vanhimpia graafisia päivänvalosuhteen määrittelymenetelmiä (kuva 8).



Kuva 7 Pilkintonin pistediagrammin. Jokainen piste vastaa 0,1 % taivaanvalon komponentista SC: (a) horisontti, (b) ikkunan keskiviiva, (c) 45 % katselukulmaa vastaava alue. /3/



Kuva 8 Yksinkertaistettu Waldramin diagrammi CIEN: standardoidulle pilviselle taivaalle. /3/

IRE:n määrittämiseksi on olemassa nomogrammeja, mutta niihin liittyy niin tiukkoja oletuksia, että ne soveltuvat vain harvoihin kohteisiin. Yleensä IRE määritellään laskemalla.

/3,4,6/



## LIITE 4 SÄTEILYN SIIRTYMISMENETELMÄ

Säteilyn siirtymismenetelmää (flux transfer method) pidetään kehittyneimpänä ja laajimpana päivänvalon laskentamenetelmänä. Se ottaa huomioon taivaansäteilyn lisäksi suoran auringonvalon tuottaman valaistusvoimakkuuden, sen avulla voidaan käsitellä kaltevien pintojen heijastamia valonsäteitä sekä erilaisia valoaukkoja pilvisen tai kirkkaan taivaan olosuhteissa. Menetelmällä voidaan käsitellä epäsuoria päivänvalomenetelmiä kuten valohyllyjä ja heijastunutta valoa päivänvalolla valaistuun tilaan liittyvissä tiloissa. Menetelmässä oletetaan, että taivaan luminanssijakauma on aina tasainen, eli luminanssi on koko taivaankannelle sama. Säteilyn siirtymismenetelmää käytetään useimmissa päivänvalon laskentaohjelmissa.

Menetelmä käyttää lähtökohtana CIE:n pilvisen ja kirkkaan taivaan luminanssijakaumia. Menetelmä laskee tarkastelupisteen valaistusvoimakkuuden joko päivänvalon tuottamasta valaistusvoimakkuudesta tai luminanssista ikkunapinnalla. Tarkastelupisteen valaistusvoimakkuus muodostetaan samaan tapaan kuin päivävalosuhteessakin, mutta huomioon otetaan nyt myös suora auringonvalo.

$$E_p = E_S + E_{SE} + E_{ERE} + MF E_{IRE} \quad (1)$$

missä

$E_p$	on tarkastelupisteen valaistusvoimakkuus [lx]
$E_S$	on suoran auringonvalon tuottama valaistusvoimakkuus [lx]
$E_{SE}$	on taivaanvalon tuottama valaistusvoimakkuus [lx]
$E_{ERE}$	on ulkopuolisten heijastumisien tuottama valaistusvoimakkuus [lx]
$E_{IRE}$	on sisäpuolisten heijastumisien tuottama valaistusvoimakkuus [lx]
MF	on huonepintojen puhdistustaajuudesta riippuva kerroin

Säteilyn siirtymismenetelmä perustuu kahteen kertoimeen: configuration factor, C, ilmoittaa säteilyn siirtymisen joltakin tasahajoittavalta tasolta tarkastelupisteeseen, form factor, F, ilmoittaa säteilyn siirtymisen joltakin tasahajoittavalta tasolta toiselle tasahajoittavalle tasolle. Kertomalla lähteenä olevan pinnan valaistusvoimakkuus C:llä saadaan tarkastelupisteen valaistusvoimakkuus. Vastaavasti kertomalla lähteenä olevan pinnan valaistusvoimakkuus F:llä saadaan tarkasteltavan tason valaistusvoimakkuus.

Kerroin C saadaan yhtälöstä 2 tilanteessa, jossa lähdetaso on samansuuntainen kuin taso, jolla tarkastelupiste sijaitsee ja yhtälöstä 4 tilanteessa, jossa lähdetaso on kohtisuorassa tarkastelupisteen tasoon nähden.

$$C = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{z^2}{\pi(x^2 + y^2 + z^2)^2} dx dy$$

$$C = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 F[(x_i, y_j)(-1)]^{i+j} \quad (2)$$

$$F(x_i, y_j) = \frac{x_i}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \arctan \frac{y_j}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} + \frac{y_j}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \arctan \frac{x_i}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \quad (3)$$

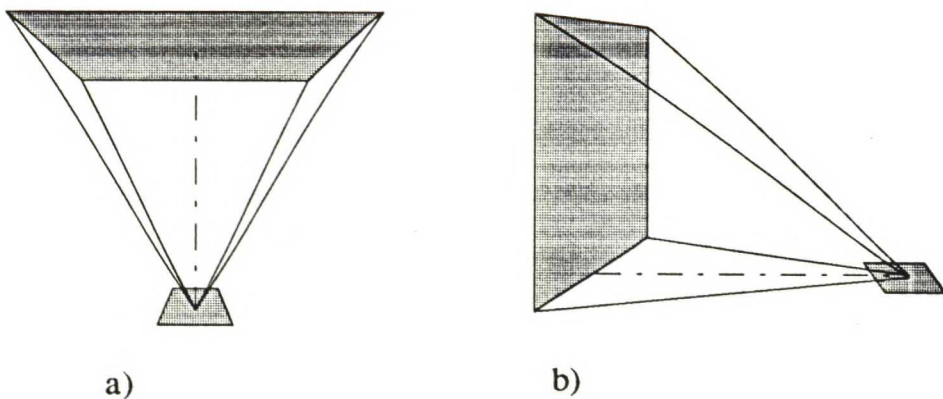
missä

$x$  ja  $y$  ovat lähdetason sivujen pituudet (kuva 1a)  
 $z$  on tarkastelupisteen etäisyys lähdetasosta

$$C = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{xy}{\pi(x^2 + y^2 + z^2)^2} dx dy$$

$$C = \frac{z}{2\pi} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 F[(x_i, y_j)(-1)]^{i+j} \quad (4)$$

$$F(x_i, y_j) = \frac{-1}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \arctan \frac{y_j}{\sqrt{x_i^2 + z^2}} \quad (5)$$



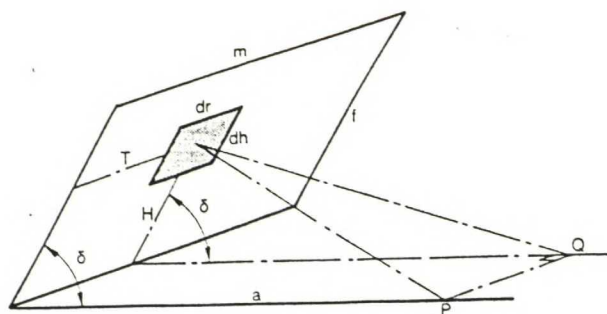
Kuva 1 Kertoimen  $C$  määrittäminen: (a) lähdetaso ja tarkastelutaso samansuuntaisia; (b) lähdetaso kohtisuorassa tarkastelutasoa vasten.  
 /3/



Jos lähdetaso ei ole vaakasuora tai pystysuora, vaan jossakin kulmassa siltä väliltä, voidaan kertoin laskea yhtälöstä 6. Yhtälön kehittäjän H.H. Higbien mukaan kerrointa nimitetään Higbie configuration factoriksi,  $H$ .  $a$ ,  $m$ ,  $f$  ja  $\delta$  yhtälöön 31 on määritelty kuvassa 2.

$$H = \left[ \arctan \frac{m}{a} + \frac{f \cos \delta - a}{\sqrt{a^2 + f^2 - 2af \cos \delta}} \arctan \frac{m \cos \delta}{\sqrt{a^2 + f^2 - 2af \cos \delta}} \right] + \frac{m \cos \delta}{\sqrt{a^2 \sin^2 \delta + m^2}} \arctan \frac{f \sqrt{a^2 \sin^2 \delta + m^2}}{a^2 + m^2 - af \cos \delta} \quad (6)$$

Yhtälössä 6 on oletettu, että tarkastelupiste  $P$  on lähdetason kulman kohdalla. Mikäli  $P$  sijaitsee keskellä ikkunaa, voidaan ikkuna jakaa suorakulmaisiin osiin ja käsitellä kutakin osaa erikseen.



Kuva 2 Kertoimen  $H$  määrittäminen, kun lähdetaso on vino. Kulma ilmoitetaan radiaaneina. /3/

Kerroin  $F$  saadaan yhtälöstä 7, mikäli lähde- ja kohdetasot ovat samansuuntaisia ja yhtälöstä 11, mikäli lähde- ja kohdetasot ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan.

$$F_{12} = \frac{z^2}{\pi A_1} \int_{u_1}^{u_2} \int_{v_1}^{v_2} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dudvdx dy}{[(x-u)^2 + (y-v)^2 + z^2]^2}$$

$$F_{12} = \frac{z^2}{\pi A_1} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 H[(u_i, v_j, x_k, y_m)(-1)^{i+j+k+m}] \quad (7)$$

$$G(v_i, z_j, x_k, y_m) = b\sqrt{1+a^2} \arctan \frac{b}{\sqrt{1+a^2}} + a\sqrt{1+b^2} \arctan \frac{a}{\sqrt{1+b^2}} + \frac{1}{2} \ln(1+a^2+b^2) \quad (8)$$

missä (kuva 3a)

x ja y kuvaavat lähdetasoa  
v ja u kuvaavat kohdetasoa  
z on tasojen etäisyys

$$a = \frac{1}{z} (x_k - u_i) \quad (9)$$

$$b = \frac{1}{z} (y_m - v_j) \quad (10)$$

$$F_{12} = \frac{1}{\pi A_1} \int_{v_1}^{v_2} \int_{z_1}^{z_2} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{(x - x_r)(z - z_s) dv dz dx dy}{[(x - x_r)^2 + (y - v)^2 + (z - z_s)^2]^2}$$

$$F_{12} = \frac{1}{2\pi A_1} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 G[(v_i, z_j, x_k, y_m)(-1)^{i+j+k+m}] \quad (11)$$

$$G(v_i, z_j, x_k, y_m) = a\sqrt{c^2 + b^2} \arctan \frac{a}{\sqrt{c^2 + b^2}} + \frac{1}{4} (a^2 - b^2 - c^2) \ln(a^2 + b^2 + c^2) \quad (12)$$

missä (kuva 3b)

x ja y kuvaavat lähdetasoa  
z ja v kuvaavat kohdetasoa  
x<sub>r</sub> on kohdetason x-koordinaatti  
z<sub>s</sub> on lähdetason z-koordinaatti  
A<sub>1</sub> on lähdetason ala, joka voidaan laskea yhtälöstä

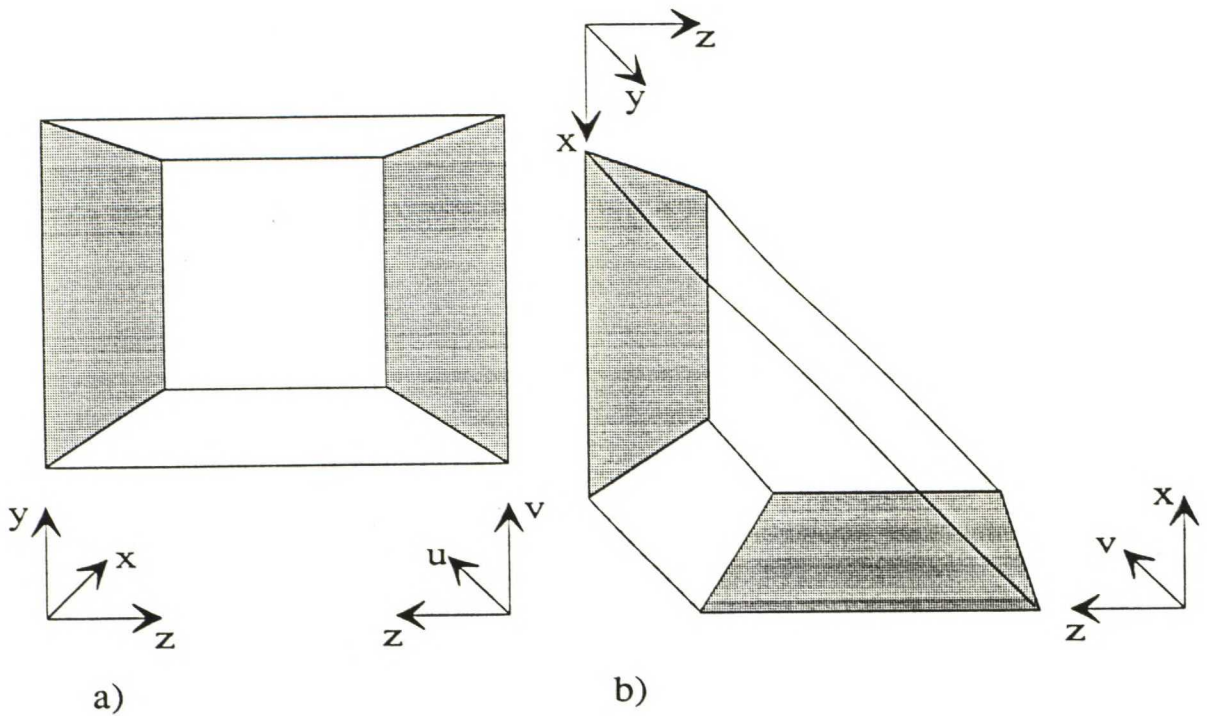
$$A_1 = (x_2 - x_1)(y_2 - y_1) \quad (13)$$

$$a = y_m - v_i \quad (14)$$

$$b = z_s - z_j \quad (15)$$

$$c = x_k - x_r \quad (16)$$





Kuva 3 Kertoimen  $F$  määrittäminen: (a) tasot samansuuntaisia; (b) tasot kohtisuoria toisiinsa nähden. /3/

$F$ :n ja  $C$ :n avulla lasketaan päivänvalon eri komponentit.  $F$ :n avulla voidaan määrittää ikkunasta tulevan päivänvalon heijastuminen huonepintojen välillä ja  $C$ :n avulla lasketaan lopuksi ikkunan ja huonepintojen aiheuttama tarkastelupisteen valaistusvoimakkuus.

$E_{SE}$  saadaan kertoimen  $C$  avulla yhtälöstä

$$E_{SE} = E_a T_a C \quad (17)$$

missä

$E_a$  on päivänvalon tuottama ikkunan valaistusvoimakkuus. Kirkkaana päivänä  $E_a$  on sama kuin hajasäteilyn tuottama valaistusvoimakkuus. Pilvisenä päivänä  $E_a$  on sama kuin kokonaissäteilyn tuottama valaistusvoimakkuus.

$T_a$  on lasin valonläpäisykerroin, joka voidaan laskea yhtälöstä

$$T_a = T \frac{T_g}{0,85} \quad (18)$$

Yhtälössä 18  $T$  on efektiivinen läpäisykerroin katselukulmaan, joka puolestaan saadaan yhtälöstä

$$\begin{aligned}
T = & 0,623 + 0,3 \cos \phi - 0,137 \cos^2 \phi \\
& + 0,51 \cos \theta - 0,66 \cos \theta \cos \phi \\
& + 0,346 \cos \theta \cos^2 \phi - 0,285 \cos^2 \theta \\
& + 0,427 \cos^2 \theta \cos \phi - 0,246 \cos^2 \theta \cos^2 \phi
\end{aligned} \tag{19}$$

Yhtälössä 44  $\theta$  ja  $\phi$  määrittelevät vertikaalisen ja horisontaalisen kulman, jossa ikkuna näkyy tarkastelupisteeseen. Yhtälö 18 toimii erittäin hyvin säteilyn siirtymismenetelmässä ja sitä voidaan käyttää myös päivänvalosuhdemenetelmän yhteydessä.

$E_{ERE}$  lasketaan C-kertoimen avulla.  $E_{ERE}$  muodostuu taivaan valon ja auringonvalon heijastumisesta rakennuksen ulkopuolisista pinnoista.

$$E_{ERE} = (E_s \rho_s T_g + E_S \rho_s T_g) C \tag{20}$$

missä

- $E_s$  on taivaanvalon tuottama valaistusvoimakkuus ulkopuoliselle pinnalle
- $E_S$  on auringonvalon tuottama valaistusvoimakkuus ulkopuoliselle pinnalle
- $\rho_s$  on pinnan heijastuskerroin
- $T_g$  on lasin valonläpäisy

Ulkopuolisista pinnoista tulevia heijastuksia laskettaessa voidaan jokainen pinta käsitellä erikseen, eikä tarvitse laskea ekvivalenttista estettä kuten päivänvalosuhdemenetelmässä. Ulkopuoliset aurinkosuojat voidaan käsitellä ulkopuolisina heijastavina pintoina.

$E_{IRE}$  voidaan laskea keskimääräisenä huonepinnoista heijastuneena komponenttina jokaiselle tarkastelupisteelle erikseen. Keskimääräinen  $E_{IRE}$  saadaan taivaanvalolle yhtälöstä

$$E_{IRE,ave} = \frac{E_1 A_1 \rho_1 + E_2 A_2 \rho_2 + \dots + E_n A_n \rho_n}{(1 - \rho_{ave}) A_r} T_g MF \tag{21}$$

missä

- $E_n$  on huonepinnalle tuleva valaistusvoimakkuus
- $A_n$  on huonepinnan pinta-ala
- $A_r$  on kaikkien huonepintojen pinta-ala
- $\rho_n$  on pinnan heijastuskerroin
- $\rho_{ave}$  on kaikkien huonepintojen keskimääräinen heijastuskerroin
- $T_g$  on lasin läpäisykerroin



MF on huonepintojen puhdustuserroin

Auringonvalon tuottama  $E_{IRE}$  voidaan laskea yhtälöstä

$$E_{IRE,ave} = (E_1 A_1 \rho_1 + \dots + E_n A_n \rho_n + \sum \frac{E_s A_s \rho_{surf}}{A_{wp}}) T_g MF \quad (22)$$

missä  $A_s$  on auringon suoraan valaiseman huonepinnan pinta-ala

$\rho_{surf}$  on auringon suoraan valaiseman huonepinnan heijastuserroin

$A_{wp}$  on työtason pinta-ala

Huonepinnoista heijastunut komponentti voidaan laskea jokaisessa tarkastelupisteessä erikseen F-kertoimen avulla.  $E_{SE}$ :n yhtälöstä 17 saadaanhuonepinnalle tuleva valaistusvoimakkuus muuttamalla kertoimen C tilalle kerroin F. Samoin voidaan muuttaa  $E_{ERE}$ :n yhtälöön 20 kertoimen C tilalle F ja laskea ulkopuolisista pinnoista huonepinnoille heijastunut valaistusvoimakkuus. Huonepinnoista tarkastelupisteeseen heijastunut valaistusvoimakkuus saadaan kertomalla pinnalle tuleva valaistusvoimakkuus pinnan heijastuskertoimella ja kertoimella C (yhtälö 23).

$$E_p = E_s \rho_s C \quad (23)$$

Ennen tarkastelupisteen valaistusvoimakkuuden laskemista voidaan tarkastella huonepintojen välisiä heijastumisia, mikäli niiden vaikutus halutaan ottaa huomioon.

Suoran auringonvalon valaistusvoimakkuus saadaan yhtälöstä

$$E_s = E_{D,surf} T_o C_a \quad (24)$$

missä

- $E_{D,surf}$  on suoran auringonvalon pinnalle tuottama valaistusvoimakkuus
- $T_o$  on lasin valonläpäisy auringonvalon tulokulmalle

$$T_o = 1,018 T_g \cos i (1 + \sin^3 i) \quad (25)$$

$T_g$  on kohtisuorassa tulevan säteen valonläpäisy

$i$  on auringonsäteen tulokulma

$C_a$  on lasin likaantumisesta ja ikkunapuitteista johtuva alene-makerroin, jonka kertoimet on määritelty päivänvalosuhteen vastaavan kertoimen yhteydessä.

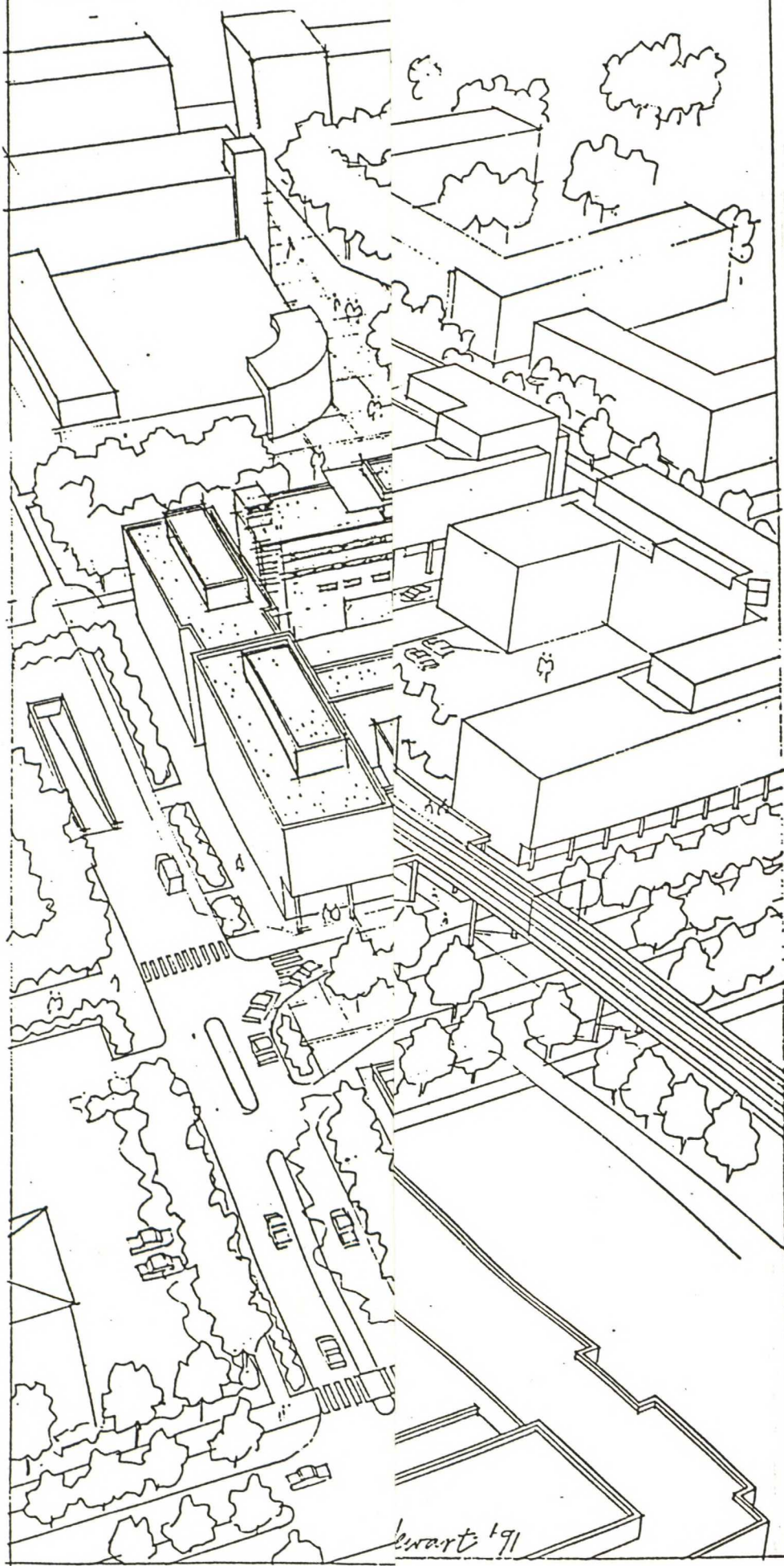
$$C_a = D_g F_g \quad (26)$$

Myös säteilyn siirtymismenetelmästä on olemassa graafinen versio, jonka kiekot ja nomogrammit muistuttavat BRE:n kiekkoja päivänvalosuhteen graafiseksi määrittämiseksi. Graafinen menetelmä on yksinkertaistettu laskentamenetelmästä. Kiekon avulla määritellään suhteellinen valaistusvoimakkuus, FDF (flux transfer daylight factor).

/3/



LIITE 5 ALUEKUVA MYY



eskuksesi  
1  
unaasta



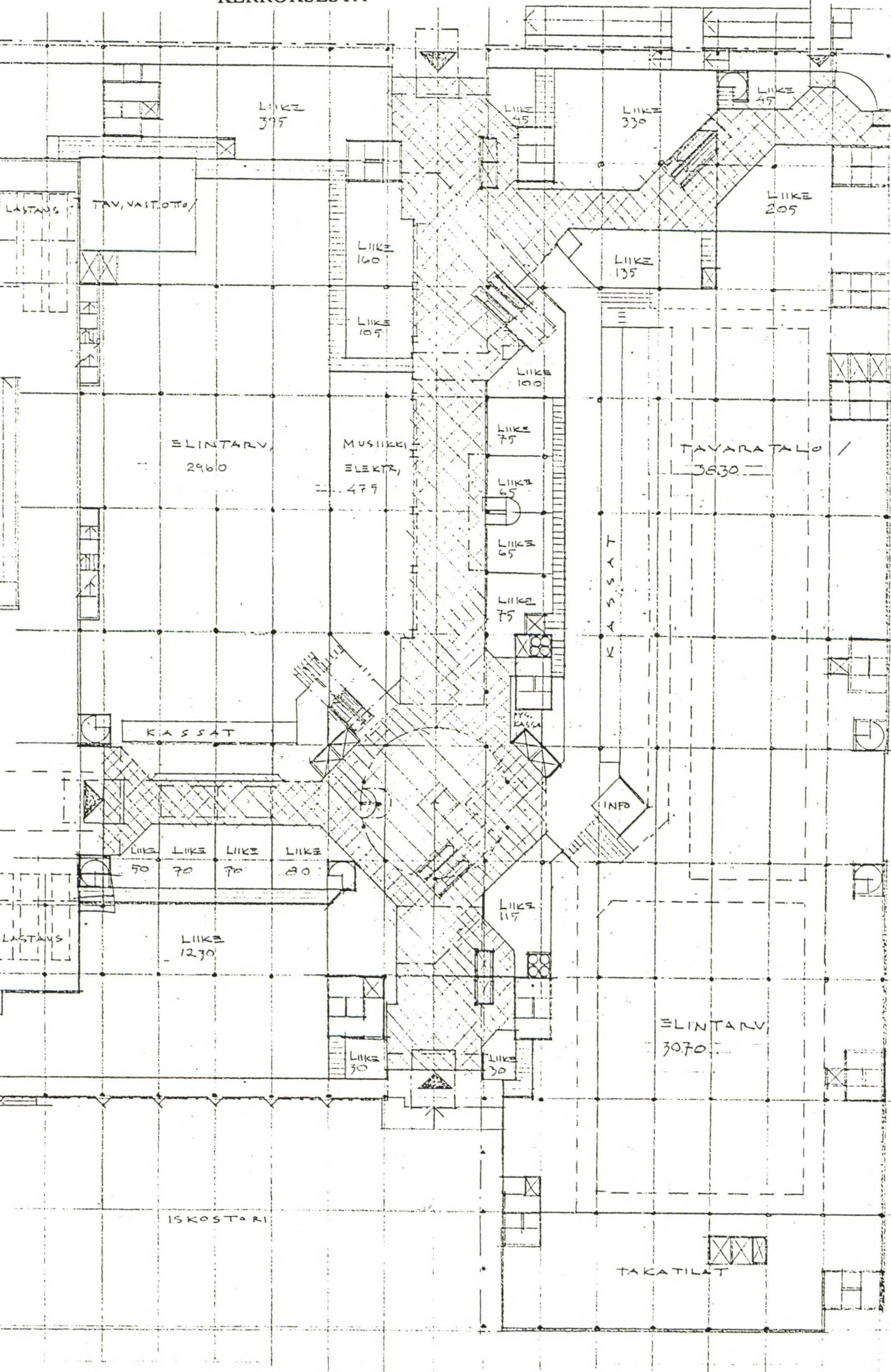
Arkkitehtitoimisto

innovark

Reinvaldintie 6 02100 Espoo  
Puh 09-455 3811 Faks 09-455 4008

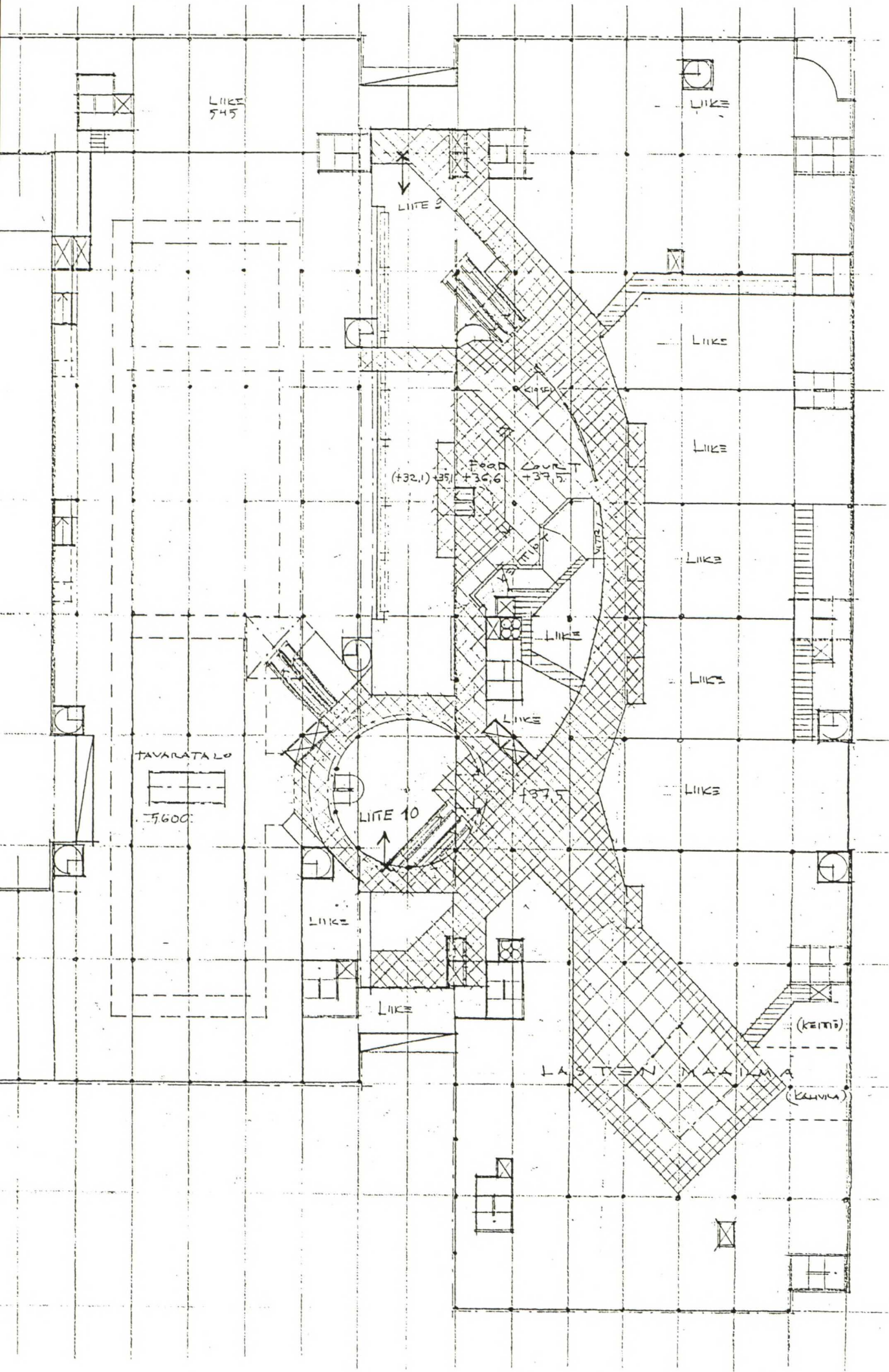


# LIITE 6 POHJAPIIRUSTUS MEGA-MYYRIN ENSIMMÄISESTÄ KERROKSESTA



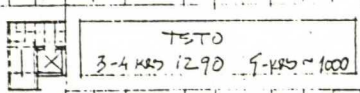


LIITE 7 POHJAPIIRUSTUS MEGA-MYYRIN TOISESTA KERROKSESTA



## LIII O

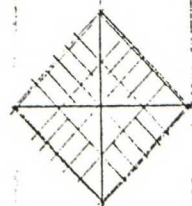
KERROKSESTA



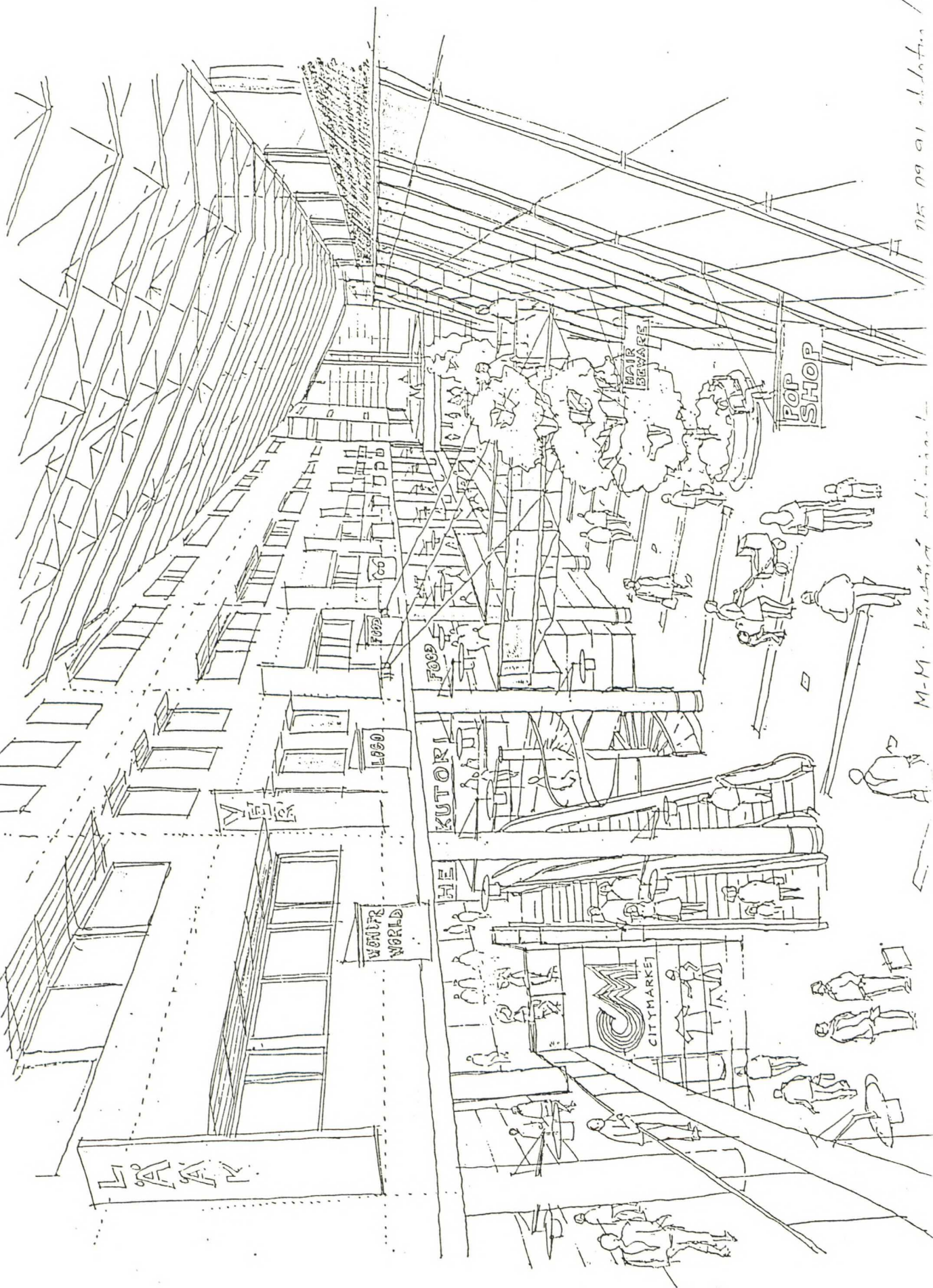
PORTUGALISTE PORRAS  
2. KRSG IN MESIKATALL

११०

150





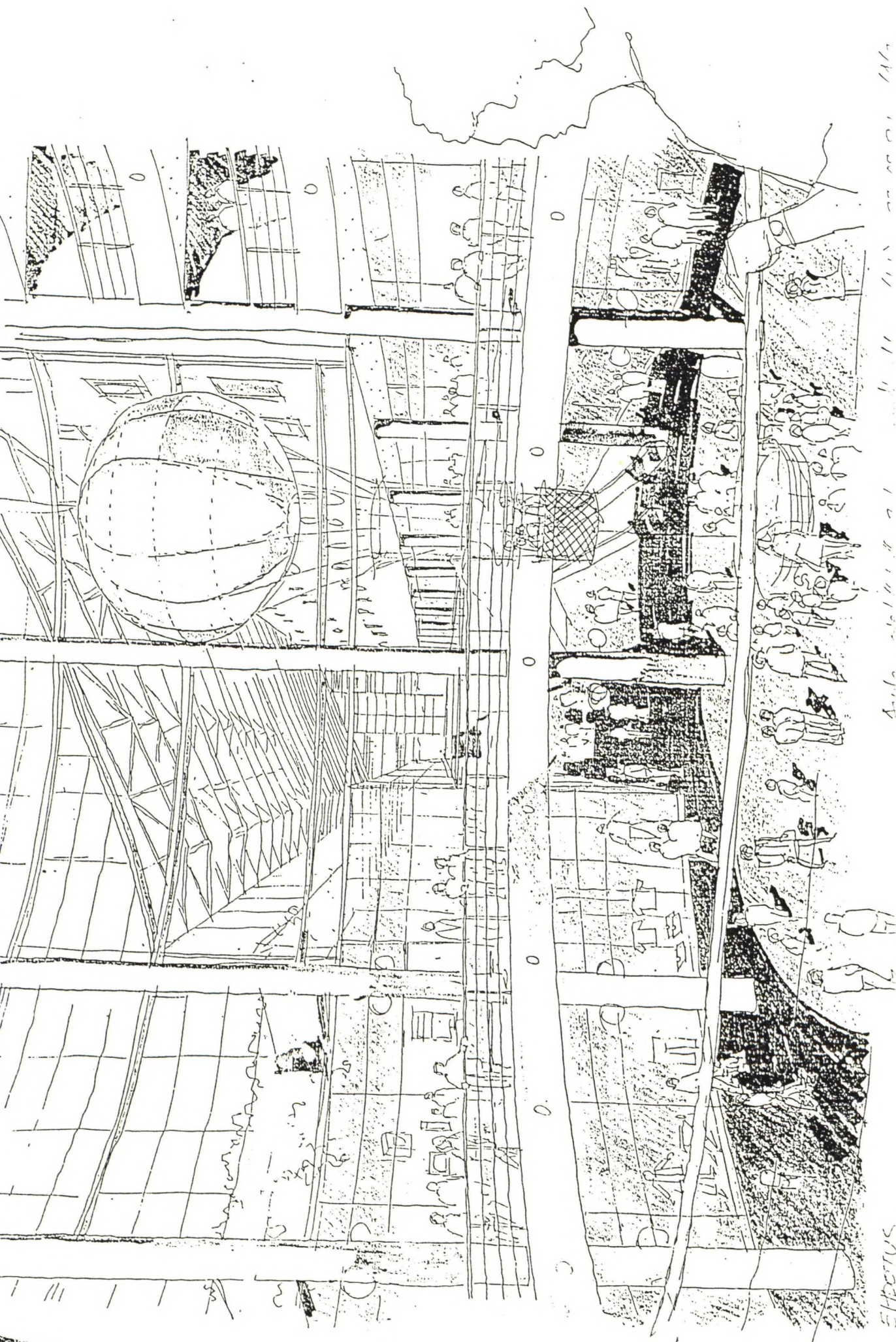


MS 09 01 Station 106

M-M. Building elevation

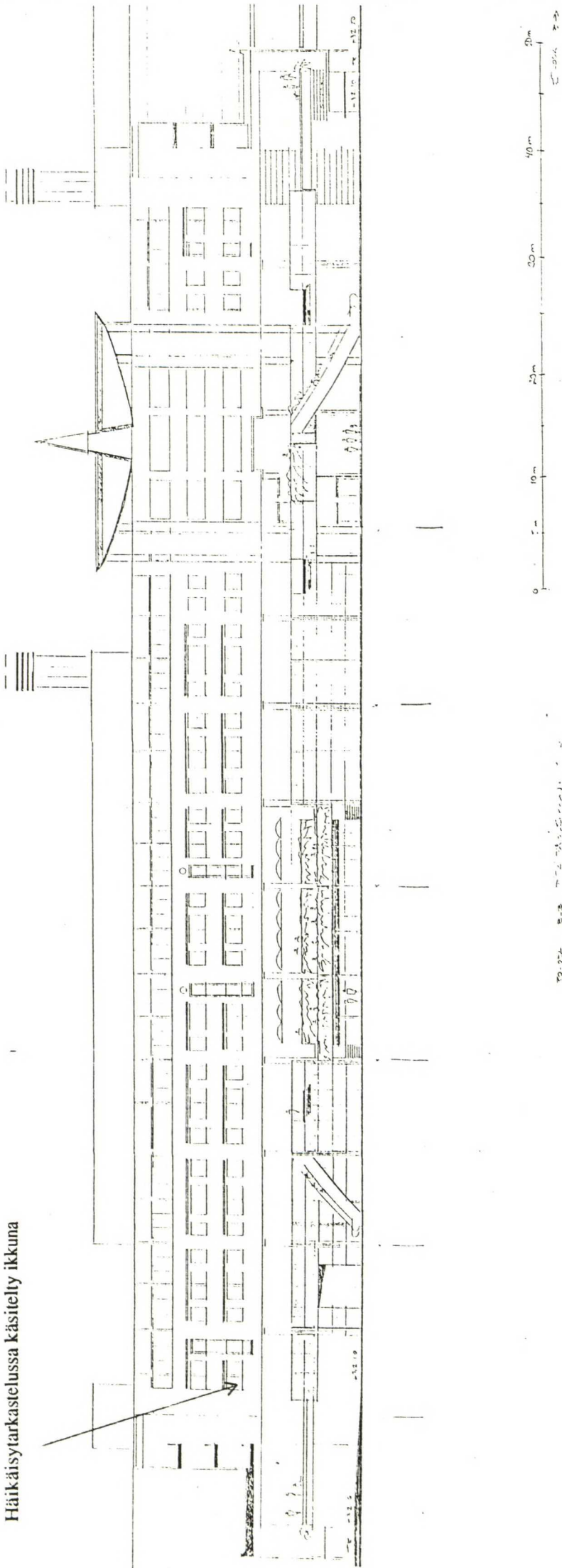


LIITE 10 NÄKYMÄ KESKUSAULASTA





Häikäisytarkastelussa käsitelty ikkuna



# LIITE 12 MEGAMYYRIN KAUPPAKÄYTÄVÄN PÄIVÄNVALOSHTEIDEN LASKENNASSA KÄYTETYT LÄHTÖARVOJEN TIEDOSTOT

ENSIMMÄINEN KERROS, OSA 1: Eteläinen osa kauppakäytävästä ja sylinteri

2 2 3 1 0  
 5 0 0 11 5 2 0  
 137.0 0.0 10.8 25.5 0.0 25.5 3.3 90.0 180.0 0.0 0.0 0.1 31 4  
 -1 -1 -1 -1 0 0 1 6 2 6 21 1 6 1 6 1 6 2 6 21 1 6 0 1 21 1 21 -1 -1 -1 -1 0  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 111.5 12.5 25.8 4.2 0.0 11.7 12.5 180.0 0.0 90.0 -90.0 0.1 14 13  
 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 0 -1 -1 0 0 -1 -1 0 0 -1  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 100.8 -7.5 10.8 13.1 0.0 13.1 15.0 90.0 145.1 0.0 0.0 0.1 13 15  
 -1 0 -1 0 2 18 20 1 20 3 6 18 20 0 0 0 0 0 2 6 20 2 18 20 0 0 -1 0 -1 0 2 18 20  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 111.5 0.0 10.8 13.1 0.0 13.1 15.0 90.0 214.9 0.0 0.0 0.1 13 15  
 -1 0 0 -1 1 18 1 18 2 6 18 0 0 0 0 0 1 18 -1 0 0 -1 0 0 -1 1 20  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 137.0 0.0 14.1 25.5 0.0 25.5 14.6 90.0 180.0 59.0 90.0 0.1 20 10  
 0 -1 1 17 1 17 -1 0 0 2 6 7 2 6 7 3 6 7 17 3 6 7 17 1 6 1 6 0 -1 -1 1 6 -1 2 6 17 2 6 17 -1  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 111.5 0.0 5.5 5.0 0.0 5.0 12.5 90.0 90.0 0.0 0.0 0.2 6 15  
 0 -1 1 17 2 17 21 0 -1 0 2 7 21 1 21 1 17 1 17 0 0 0 2 7 17 3 7 17 21 0 -1 1 17 2 17 18 0  
 111.5 12.5 0.0 25.5 0.0 25.5 21.6 90.0 0.0 0.0 0.0 0.7 14 14  
 1 6 -1 3 6 17 21 3 6 17 21 1 6 0 -1 -1 -1 2 6 17 2 6 17 2 6 21 1 6 1 6 2 6 21 2 6 21 1 6 -  
 1 3 6 17 21 3 6 17 21 1 6  
 100.8 17.0 0.0 11.7 0.0 11.7 25.8 90.0 -22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 2 6 18 0 0 0 2 6 21 1 18 -1 -1 0 0 0 0 2 6 18 1 6 0 0 2 6 18 0 0 0 2 6 18  
 90.0 12.5 0.0 11.7 0.0 11.7 25.8 90.0 22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 3 6 8 18 0 0 0 3 6 8 18 1 8 -1 0 -1 0 0 0 3 6 8 18 2 6 8 0 0 3 6 8 18 0 0 0 3 6 8 18  
 100.8 -7.5 0.0 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 90.0 90.0 180.0 0.2 22 9  
 2 6 20 0 0 0 3 6 8 20 2 8 20 3 6 8 20 0 0 -1 -1 0 -1 1 6 0 0 2 6 20 0 0 0 3 6 8 20  
 100.8 17.0 0.0 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 0.0 0.2 22 9  
 2 6 20 0 0 0 3 6 8 20 2 8 20 3 6 8 20 0 0 -1 -1 0 -1 3 6 8 20 0 0 2 6 20 0 0 0 3 6 8 20  
 90.0 0.0 0.0 12.5 0.0 12.5 25.8 90.0 90.0 0.0 0.0 0.1 10 20  
 2 6 18 0 0 0 2 6 18 0 2 6 18 0 0 0 0 -1 1 6 2 6 18 0 0 2 6 18 0 0 0 2 6 18  
 111.5 12.5 0.0 21.5 0.0 12.5 25.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 0.2 10 20  
 1 6 -1 3 6 17 21 3 6 17 21 1 6 0 1 6 3 6 7 18 2 6 7 -1 -1 1 6 -1 0 4 6 7 17 21 4 6 7 17  
 21 1 6 -1 3 6 17 21 3 6 17 21 1 6  
 137.0 0.0 0.0 14.1 0.0 21.6 12.5 0.0 90.0 90.0 0.7 19 10  
 1 6 -1 3 6 17 21 -1 0 0 1 6 3 6 7 18 3 6 7 18 3 6 7 17 3 6 7 17 2 6 21 0 -1 3 7 17 21 3  
 7 17 21 1 6 -1 3 6 17 21 3 6 17 21 0  
 100.8 17.0 25.8 24.5 4.5 17.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.1 22 9  
 2 18 20 0 0 0 -1 2 4 8 4 6 8 18 20 0 0 0 0 0 2 6 18 1 18 -1 -1 3 6 18 20 0 0 0 -1  
 111.5 -7.5 25.8 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 90.0 90.0 0.0 0.1 22 9  
 2 18 20 0 0 0 -1 3 4 5 8 4 6 8 18 20 0 0 0 0 0 4 6 8 18 20 3 8 18 20 -1 -1 2 6 20 0 0 0 -1  
 137.0 0.0 0.0 25.5 0.0 25.5 14.1 90.0 180.0 0.0 0.0 0.7 18 11  
 1 1  
 -1 -1 -1 -1 1 6 0 1 6 2 6 21 1 6 1 6 1 6 1 6 1 6 2 6 21 2 6 21 -1 -1 -1 -1 1 6  
 111.5 12.5 25.8 4.2 0.0 11.7 12.5 180.0 0.0 90.0 -90.0 0.7 14 13  
 1 2  
 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 0 -1 -1 0 0 -1 -1 0 0 -1  
 90.0 -7.5 0.0 13.1 0.0 13.1 25.8 90.0 145.1 0.0 0.0 0.7 10 20  
 1 3  
 -1 0 -1 0 3 6 18 20 1 20 3 6 18 20 0 0 0 0 0 2 6 20 -1 0 0 -1 0 -1 0 3 6 18 20  
 111.5 0.0 0.0 13.1 0.0 13.1 25.8 90.0 214.9 0.0 0.0 0.7 10 20



1 4

-1 0 0 -1 2 6 18 1 18 2 6 18 0 0 0 0 0 2 6 18 -1 0 0 -1 0 0 -1 2 6 18  
137.0 0.0 14.1 25.5 0.0 25.5 14.6 90. 180.0 59.0 90.0 0.7 18 11

1 5

0 -1 2 6 17 2 6 17 -1 0 1 6 2 6 7 2 6 7 3 6 7 17 3 6 7 17 1 6 1 6 0 -1 -1 1 6 -1 2 6 17 2 6 1  
90.0 17.0 0.8 24.5 0.0 24.5 21.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 15 13  
2 6 20 0 0 0 3 6 8 20 2 8 20 3 6 8 20 0 0 0 0 0 2 8 20 3 6 8 20 0 0 2 6 20 0 0 0 3 6 8 20  
111.5 12.5 0.8 12.5 0.0 12.5 25.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 10 20  
1 6 -1 3 6 17 21 3 6 17 21 1 6 0 1 6 3 6 7 18 2 6 7 2 7 17 2 7 17 1 6 0 0 4 6 7 17 21  
4 6 7 17 21 1 6 -1 3 6 17 21 3 6 17 21 1 6  
60.3 24.9 6 50.0 4 0.1  
3 12 3 30 12 16 4  
0.9 0.1 3.0 0.2 1.5 0.2 1.0 0.1

## ENSIMMÄINEN KERROS OSA2: Pohjoinen osa kauppakäytävästä ja sylinteri

2 2 3 1 0

5 0 0 13 5 2 0

90.0 0.0 10.8 78.0 0.0 78.0 3.3 90. 180. 90.0 0.0 0.1 66 3  
-1 0 -1 -1 1 20 0 0 3 6 10 20 3 6 10 20 3 6 7 13 2 7 13 -1 0 3 6 7 13 2 10 20 2 10 20 3 6 7  
10 3 6 7 10 -1 0 -1 -1 1 20  
0 1.0 0.63 0.05 0  
90.0 0.0 14.1 78.0 0.0 78.0 14.8 90. 180. 59.0 90.0 0.1 33 6  
0 -1 1 19 1 19 -1 0 0 2 6 10 2 6 10 3 6 7 13 2 7 13 -1 0 3 6 7 13 -1 -1 3 6 10 19 3 6 10 19  
3 6 7 13 -1 2 6 19 2 6 19 1 6  
0 1.0 0.63 0.05 0  
100.8 -7.5 10.8 13.11 0.0 13.11 15.0 90. 145.1 0.0 0.0 0.1 13 15  
-1 1 12 -1 0 0 1 12 1 12 0 0 2 6 12 -1 0 -1 2 6 12 0 0 0 0 -1 1 12 -1 0 0  
0 1.0 0.63 0.05 0  
111.5 0.0 10.8 13.11 0.0 13.11 15.0 90. 214.9 0.0 0.0 0.1 13 15  
-1 2 12 21 0 -1 0 1 21 -1 0 0 3 6 12 21 -1 0 -1 3 6 12 21 0 0 0 0 -1 2 12 21 0 -1 0  
0 1.0 0.63 0.05 0  
111.5 12.5 25.8 4.2 0.0 11.7 12.5 180. 0.0 90. -90. 0.1 14 13  
1 12 -1 0 0 -1 0 1 12 0 0 4 6 7 12 13 4 6 7 12 13 0 1 12 3 6 7 12 0 0 0 0 4 6 7 12 13 -1 0 0 -1  
0 1.0 0.63 0.05 0  
86.0 0.0 5.5 4.0 0.0 4.0 12.5 90.0 0.0 90.0 90.0 0.2 8 25  
0 0 2 19 20 1 19 0 -1 -1 1 10 2 10 20 0 0 -1 -1 0 3 10 19 20 2 10 19 2 10 19 2 10 19 0 0 2 19 20 1  
38.0 0.0 5.5 4.0 0.0 4.0 12.5 90.0 0.0 90.0 90.0 0.2 8 25  
0 0 -1 2 19 20 1 20 -1 -1 2 10 20 -1 0 0 -1 -1 0 -1 3 10 19 20 2 10 19 2 10 19 0 0 -1 2 19 20 1 20  
111.5 17.0 0.0 11.65 0.0 11.65 25.8 90.0 -22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
3 6 9 12 3 6 9 12 0 0 0 0 2 9 12 -1 0 -1 -1 0 -1 3 6 9 12 0 0 0 0 5 6 7 9 12 13 3 6 9 12 0 0  
90.0 12.5 0.0 11.65 0.0 11.65 25.8 90. 22.7 0. 0. 0.7 10 20  
1 12 2 6 12 0 0 0 1 12 -1 0 -1 -1 -1 0 -1 2 6 12 0 0 0 0 2 6 12 2 6 12 0 0 0  
0.0 12.5 0.0 90.0 0.0 90.0 21.6 90. 0.0 0. 0. 0.7 33 6  
3 6 7 13 3 6 7 13 3 6 19 20 3 6 19 20 4 6 7 13 20 0 0 -1 -1 -1 3 6 7 13 -1 0 3 6 7 13 2 6 20 3  
7 13 19 4 6 7 13 19 3 6 7 13 3 6 7 12 3 6 19 20 3 6 19 20 4 6 7 13 20  
0.0 12.5 0.0 21.6 0.0 14.1 12.5 0. 0.0 90. -90. 0.7 20 10  
2 7 13 2 7 12 -1 -1 4 6 7 12 20 0 0 -1 -1 3 6 7 13 -1 -1 0 2 7 13 4 6 7 13 20 4 6 7 13 20 5  
6 7 10 13 19 5 6 7 10 13 19 3 6 7 13 3 6 7 13 -1 -1 4 6 7 13 20  
90.0 0.0 25.8 11.7 0.0 4.2 12.5 180. 0.0 90. 90. 0.7 14 13  
-1 -1 0 0 0 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 0 0 -1 -1 0 0 0  
0.0 0.0 5.5 15.0 0.0 22.0 12.5 90.0 0.0 90.0 90.0 0.2 20 10  
0 0 -1 2 19 20 1 20 -1 -1 2 10 20 -1 0 0 -1 -1 0 -1 -1 2 10 19 2 10 19 0 0 -1 2 19 20 1 20  
0.0 12.5 0.0 12.5 0.0 12.5 90.0 90. -90.0 90.0 0.0 0.2 40 5  
3 6 7 13 3 6 7 13 3 6 19 20 3 6 19 20 3 6 7 20 0 0 4 6 7 10 20 4 6 7 10 20 3 6 7 13 2 7 13  
-1 0 -1 4 6 10 19 20 4 6 10 19 20 -1 -1 3 6 7 13 3 6 7 13 3 6 19 20 3 6 19 20 0  
100.8 17.0 25.8 24.5 4.5 17.0 10.75 90. -90.0 90. 180. 0.1 20 10

2 6 12 -1 0 0 0 1 12 -1 0 0 4 6 9 12 21 -1 0 -1 4 6 9 12 21 -1 -1 0 0 2 7 12 -1 0 0 0  
 111.5 -7.5 25.8 24.5 7.5 20.0 10.75 90. 90. 90.0 0.0 0.1 20 10  
 2 6 12 -1 0 0 0 0 -1 0 0 4 6 9 12 21 -1 0 -1 4 6 9 12 21 -1 -1 0 0 3 6 12 21 -1 0 0 0  
 100.8 -7.5 0.0 24.5 7.5 20.0 10.75 90.0 90.0 90.0 180.0 0.2 22 9  
 3 6 9 21 3 6 9 21 0 0 0 2 9 21 2 9 21 0 0 5 6 7 9 13 21 4 7 9 13 21 0 2 9 21 -1 0 0 -1 -  
 1 5 6 7 9 13 21 4 6 7 9 21 0 0 0  
 100.8 17.0 0.0 24.5 7.5 20.0 10.75 90.0 -90.0 90.0 0.0 0.2 22 9  
 3 6 9 21 3 6 9 21 0 0 0 2 9 21 2 9 21 0 0 5 6 7 9 13 21 4 7 9 13 21 0 2 9 21 -1 0 0 -1 -  
 1 5 6 7 9 13 21 4 6 7 9 21 0 0 0  
 90.0 0.0 0.0 90.0 0.0 90.0 14.1 90.0 180.0 0.0 0.0 0.7 33 6  
 1 1  
 -1 3 6 7 13 -1 -1 4 6 7 13 20 0 0 5 6 7 10 13 20 3 6 10 20 3 6 7 13 3 6 7 13 -1 0 3 6 7 13 3  
 6 10 20 4 6 7 10 20 4 6 7 10 13 4 6 7 10 13 -1 3 6 7 13 -1 -1 4 6 7 13 20  
 90.0 0.0 14.1 90.0 0.0 90.0 14.8 90. 180. 59.0 90.0 0.7 33 6  
 1 2  
 0 -1 1 19 1 19 -1 0 0 2 6 10 2 6 10 3 6 7 13 2 7 13 -1 0 3 6 7 13 -1 -1 3 6 10 19 3 6 10 19  
 3 6 7 13 -1 2 6 19 2 6 19 1 6  
 90.0 -7.5 0.0 13.11 0.0 13.11 25.8 90.0 145.1 0.0 0.0 0.7 10 20  
 1 3  
 -1 2 6 12 -1 0 0 1 12 1 12 0 0 2 6 12 -1 0 -1 2 6 12 0 0 0 0 -1 2 6 12 -1 0 0  
 111.5 0.0 0.0 13.11 0.0 13.11 25.8 90.0 214.9 0.0 0.0 0.7 10 20  
 1 4  
 -1 3 6 12 21 0 -1 0 1 21 -1 0 0 3 6 12 21 -1 0 -1 3 6 12 21 0 0 0 0 -1 3 6 12 21 0 -1 0  
 111.5 12.5 0.0 12.5 0.0 12.5 25.8 90.0 -90.0 0.0 0.0 0.1 10 20  
 1 5  
 1 12 3 6 7 12 0 0 -1 0 1 12 0 0 4 6 7 12 13 4 6 7 12 13 0 1 12 3 6 7 12 0 0 0 0 4 6 7  
 12 13 3 6 7 12 0 0 -1  
 90.0 17.0 0.8 24.5 0.0 24.5 21.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 12 11  
 5 6 7 9 13 21 3 6 9 21 0 0 0 2 9 21 2 9 21 0 0 5 6 7 9 13 21 4 7 9 13 21 0 2 9 21 2 9  
 21 0 0 0 0 5 6 7 9 13 21 3 6 9 21 0 0 0  
 0.0 12.5 0.8 12.5 0.0 12.5 90.0 90. -90.0 90.0 0.0 5 40  
 3 6 7 13 3 6 7 13 3 6 19 20 3 6 19 20 3 6 7 20 0 0 4 6 7 10 20 4 6 7 10 20 3 6 7 13 2 7 13 -1  
 19 20 4 6 10 19 20 2 10 19 2 10 19 3 6 7 13 3 6 7 13 3 6 19 20 3 6 19 20 0  
 60.3 24.9 6 50.0 1 0.1  
 3 12 3 30 12 14 2  
 0.9 0.1 3.0 0.2 1.5 0.2 1.0 0.1

### ENSIMMÄINEN KERROS OSA 3: Eteläinen osa kauppakäytävästä ja sylinteri ilman ikkunoita

2 2 3 1 0  
 3 0 -0 13 3 2 0  
 137.0 0.0 10.8 25.5 0.0 25.5 3.3 90.0 180.0 0.0 0.0 0.1 31 4  
 -1 0 1 18 -1 -1 -1 0 1 7 2 7 18 1 7 1 7 1 7 0 1 18 1 18 -1 0 2 7 18  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 137.0 0.0 14.1 25.5 0.0 25.5 14.6 90.0 180.0 59.0 90.0 0.1 18 11  
 0 -1 -1 2 7 17 2 7 17 -1 0 0 2 7 8 2 7 8 3 7 8 17 3 7 8 17 1 7 0 -1 -1 1 7 -1 1 7  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 90.0 0.0 25.8 11.7 0.0 4.2 12.5 180.0 0.0 90.0 90.0 0.1 14 13  
 1 6 -1 -1 0 0 0 0 2 6 7 0 0 0 0 1 7 2 6 7 0 0 2 6 7 -1 -1  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 90.0 -7.5 0.0 13.1 0.0 13.1 25.8 90.0 145.1 0.0 0.0 0.7 10 20  
 -1 3 5 6 7 0 -1 0 0 1 5 3 5 6 7 0 0 0 0 2 5 7 -1 0 0 -1 3 5 6 7 0  
 111.5 0.0 0.0 13.1 0.0 13.1 25.8 90.0 214.9 0.0 0.0 0.7 10 20  
 -1 2 6 7 0 0 -1 0 1 6 2 6 7 0 0 0 0 2 6 7 -1 0 0 -1 2 6 7 0  
 111.5 12.5 25.8 4.2 0.0 11.7 12.5 180.0 0.0 90.0 -90.0 0.7 14 13  
 -1 -1 0 0 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 -1 -1 0 0 -1 -1 0  
 111.5 0.0 5.5 5.0 0.0 5.0 12.5 90.0 90.0 0.0 0.0 0.2 6 15



0 0 0 1 17 2 17 18 -1 -1 0 2 8 18 1 18 1 17 1 17 0 0 2 8 17 3 8 17 18 0 0 0  
 111.5 12.5 0.0 25.5 0.0 25.5 21.6 90.0 0.0 0.0 0.0 0.7 15 13  
 1 7 1 7 2 7 18 3 7 17 18 3 7 17 18 -1 0 -1 -1 -1 2 7 17 2 7 17 1 7 1 7 2 7 18 2 7 18 1 7 1 7 2  
 100.8 17.0 0.0 11.7 0.0 11.7 25.8 90.0 -22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 2 6 7 2 6 7 0 0 0 0 1 6 -1 -1 0 0 0 2 6 7 1 7 0 0 2 6 7 2 6 7 0  
 90.0 12.5 0.0 11.7 0.0 11.7 25.8 90.0 22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 3 6 7 9 3 6 7 9 0 0 0 0 1 9 -1 0 -1 0 0 3 6 7 9 2 7 9 0 0 3 6 7 9 3 6 7 9 0  
 100.8 17.0 0.0 24.5 4.5 17.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.2 21 9  
 2 5 9 3 5 7 9 0 0 0 0 2 5 9 3 5 7 9 0 0 -1 -1 -1 1 7 0 0 2 5 9 3 5 7 9 0  
 111.5 -7.5 0.0 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 90.0 90.0 0.0 0.2 21 9  
 2 6 7 3 5 7 9 0 0 0 0 2 5 9 3 5 7 9 0 0 -1 -1 -1 3 5 7 9 0 0 2 5 7 3 5 7 9 0  
 111.5 12.5 0.0 12.5 0.0 12.5 25.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 0.2 10 20  
 1 7 1 7 1 7 3 7 17 18 2 7 17 -1 0 1 7 3 7 8 18 2 7 8 -1 -1 -1 0 4 7 8 17 18 4 7 8 17 18 1 7 1  
 137.0 0.0 0.0 14.1 0.0 21.6 12.5 0.0 0.0 90.0 90.0 0.7 20 10  
 1 7 0 2 7 18 3 6 7 17 -1 -1 0 1 7 3 6 7 8 3 6 7 8 3 7 8 17 3 7 8 17 0 -1 3 8 17 18 3 8  
 17 18 1 7 0 2 7 18  
 100.8 17.0 25.8 24.5 4.5 17.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.1 21 9  
 2 5 6 -1 0 0 0 0 2 5 9 4 5 6 7 9 0 0 0 0 2 6 7 1 6 -1 -1 3 5 6 7 -1 0  
 100.8 -7.5 25.8 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 90.0 90.0 0.0 0.1 21 9  
 2 5 6 -1 0 0 0 0 3 5 6 9 4 5 6 7 9 0 0 0 0 4 5 6 7 9 3 5 6 9 -1 -1 3 5 6 7 -1 0  
 137.0 0.0 0.0 25.5 0.0 25.5 14.1 90.0 180.0 0.0 0.0 0.7 20 10  
 1 1  
 -1 1 7 2 7 18 -1 -1 -1 0 1 7 2 7 18 1 7 1 7 1 7 1 7 1 7 2 7 18 2 7 18 -1 1 7 1 7  
 137.0 0.0 14.1 25.5 0.0 25.5 14.6 90.0 180.0 59.0 90.0 0.1 20 10  
 1 2  
 0 -1 -1 2 7 17 2 7 17 -1 0 1 7 2 7 8 2 7 8 3 7 8 17 3 7 8 17 1 7 0 -1 -1 1 7 -1 1 7  
 90.0 0.0 0.0 12.5 0.0 12.5 25.8 90.0 90.0 0.0 0.0 0.1 10 20  
 1 3  
 2 6 7 2 6 7 -1 0 0 0 0 2 6 7 0 0 0 0 1 7 2 6 7 0 0 2 6 7 2 6 7 -1  
 90.0 17.0 0.8 24.5 0.0 24.5 21.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 15 13  
 2 5 7 3 5 7 9 0 0 0 0 2 5 9 3 5 7 9 0 0 0 0 2 5 9 3 5 7 9 0 0 2 5 7 3 5 7 9 0  
 111.5 12.5 0.8 12.5 0.0 12.5 25.5 90.0 -90.0 90.0 0.0 10 20  
 1 7 1 7 1 7 3 7 17 18 3 7 17 18 -1 0 1 7 3 7 8 18 2 7 8 2 7 17 2 7 17 0 0 4 7 8 17 18 4  
 7 8 17 18 1 7 1 7 1 7  
 60.3 24.9 6 50.0 4 0.1  
 3 12 3 30 12 16 4  
 0.9 0.1 3.0 0.2 1.5 0.2 1.0 0.1

# TOINEN KERROS, OSA1: Eteläinen osa kauppakäytävästä ja sylinteri

2 2 3 1 0  
 5 0 0 14 5 1 0  
 137.0 0.0 5.3 25.5 0.0 25.5 3.3 90.0 180.0 0.0 0.0 0.1 31 4  
 -1 -1 -1 -1 0 3 7 8 9 0 1 24 0 1 7 1 9 1 24 2 7 8 0 1 24 1 24 -1 -1 0 -1 -1 -1 0  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 111.5 12.5 20.3 4.2 0.0 11.7 12.5 180.0 0.0 90.0 -90.0 0.1 14 13  
 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 0 0 -1 1 9 0 2 8 9 -1 0 0 -1 -1 0 -1 -1 0 0 -1  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 100.8 -7.5 5.3 13.1 0.0 13.1 15.0 90.0 145.1 0.0 0.0 0.1 13 15  
 -1 0 -1 0 2 21 23 3 7 8 9 2 21 23 0 0 -1 1 9 0 4 7 8 9 23 -1 0 0 -1 -1 0 -1 0 2 21 23  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 111.5 0.0 5.3 13.1 0.0 13.1 15.0 90.0 214.9 0.0 0.0 0.1 13 15  
 -1 0 0 -1 1 21 3 7 8 9 1 21 0 0 -1 1 9 0 4 7 8 9 21 -1 0 0 -1 -1 0 -1 0 0 -1 1 21  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 137.0 0.0 8.6 25.5 0.0 25.5 14.6 90.0 180.0 59.0 90.0 0.1 20 10  
 0 -1 1 20 1 20 -1 3 7 8 9 0 1 7 1 7 1 7 2 7 9 0 3 7 8 9 0 -1 -1 -1 -1 1 20 0 -1 1 20 1 20 -1  
 0 1.0 0.6 0.1 0

90.0 20.5 0.0 47.0 0.0 47.0 4.0 90.0 0.0 0.0 0.0 0.7 47 4  
 -1 2 17 18 2 17 18 2 17 18 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 2 17 18 0 2 17 18 2 17 18 2 17 18 0 0 1 20 2 17  
 18 2 17 18 2 17 18 2 17 18 -1  
 111.5 12.5 4.0 25.5 0.0 25.5 12.1 90.0 0.0 0.0 0.0 0.7 18 11  
 0 -1 2 20 24 2 20 24 0 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 24 0 0 2 20 24 2 20 24 -1 -1 1 20 0 -1 2 20 24 2 20 24 0  
 100.8 17.0 4.0 11.7 0.0 11.7 16.3 90.0 -22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 1 21 0 0 0 1 21 -1 -1 -1 0 -1 1 9 0 2 9 21 0 0 0 -1 -1 0 1 21 0 0 0 1 21  
 90.0 12.5 4.0 11.7 0.0 11.7 16.3 90.0 22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 2 8 21 0 0 0 2 8 21 -1 -1 0 -1 -1 -1 0 2 8 21 1 8 0 0 -1 -1 0 2 8 21 0 0 0 2 8 21  
 137.0 20.5 0.0 8.0 0.0 8.0 4.0 90.0 -90.0 0.0 0.0 0.7 16 8  
 1 18 -1 -1 -1 1 18 0 -1 -1 1 18 -1 0 1 18 0 -1 2 18 24 2 18 24 0 0 1 20 1 18 -1 -1 -1 1 18  
 90.0 12.5 0.0 8.0 0.0 8.0 4.0 90.0 90.0 0.0 0.0 0.7 16 8  
 1 17 1 17 1 17 1 17 2 17 18 0 -1 1 17 -1 0 -1 -1 0 2 17 18 1 17 2 17 18 0 0 0 1 17 1 17 1 17 1 17  
 90.0 0.0 0.0 12.5 0.0 12.5 20.3 90.0 90.0 0.0 0.0 0.1 11 18  
 1 21 0 0 0 1 21 3 7 8 9 1 21 0 0 2 7 8 -1 -1 3 7 8 9 1 21 0 0 2 8 9 3 7 8 9 0 1 21 0 0 0 1  
 90.0 0.0 0.0 47.0 0.0 47.0 20.5 90.0 0.0 90.0 90.0 0.2 20 10  
 2 17 18 3 17 18 24 4 17 18 20 24 4 17 18 20 24 2 17 18 0 2 8 18 3 7 17 18 3 7 17 18 0 0 2 17 18 -1  
 18 20 24 5 7 17 18 20 24 0 0 -1 2 17 18 3 17 18 24 4 17 18 20 24 4 17 18 20 24 2 17 18  
 137.0 0.0 0.0 8.6 0.0 16.1 12.5 0.0 0.0 90.0 90.0 0.7 16 12  
 0 -1 2 20 24 -1 0 3 7 8 9 0 2 7 24 2 7 24 -1 2 7 9 1 24 1 7 -1 3 7 20 24 3 7 20 24 3 7 8  
 9 2 7 8 1 20 0 -1 2 20 24 -1 0  
 100.8 17.0 20.3 24.5 4.5 17.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.1 22 9  
 2 21 23 0 0 0 -1 2 8 9 3 8 21 23 0 0 1 7 1 9 0 5 7 8 9 21 23 1 21 -1 -1 -1 -1 0 2 21 23 0 0 0 -1  
 111.5 -7.5 20.3 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 90.0 90.0 0.0 0.1 22 9  
 2 21 23 0 0 0 -1 2 8 9 3 8 21 23 0 0 -1 1 9 0 5 7 8 9 21 23 1 21 -1 -1 -1 -1 0 2 21 23 0 0 0 -1  
 100.8 20.5 4.0 3.5 0.0 8.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.6 12 16  
 -1 -1 -1 -1 -1 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 0 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 0 0 -1  
 137.0 12.5 4.0 25.5 0.0 44.6 8.0 90.0 180.0 90.0 90.0 0.6 33 6  
 -1 -1 -1 -1 -1 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 0 -1 -1 -1 -1 1 20 0 -1 0 0 -1  
 90.0 0.0 0.0 13.1 4.5 17.6 12.3 90.0 -34.9 90.0 55.1 0.2 17 11  
 1 23 0 0 0 1 23 1 23 1 23 0 0 1 23 0 0 -1 1 23 0 0 0 1 23 -1 1 23 0 0 0 1 23  
 137.0 0.0 0.0 25.5 0.0 25.5 8.6 90.0 180.0 0.0 0.0 0.7 25 8  
 1 1  
 -1 -1 -1 -1 0 3 7 8 9 0 1 24 0 1 7 1 9 1 24 2 7 8 0 1 24 1 24 2 8 9 3 7 8 9 0 -1 -1 -1 -1 0  
 111.5 12.5 20.3 4.2 0.0 11.7 12.5 180.0 0.0 90.0 -90.0 0.7 14 13  
 1 2  
 -1 -1 0 0 -1 2 8 9 -1 0 0 -1 1 17 0 2 17 18 -1 0 0 -1 -1 0 -1 -1 0 0 -1  
 90.0 -7.5 0.0 13.1 0.0 13.1 20.3 90.0 145.1 0.0 0.0 0.7 11 18  
 1 3  
 -1 0 -1 0 2 21 23 3 7 8 9 2 21 23 0 0 2 7 23 1 9 0 4 7 8 9 23 -1 0 0 2 8 9 3 7.8 9 0 -1 0 -1  
 0 2 21 23  
 111.5 0.0 0.0 13.1 0.0 13.1 20.3 90.0 214.9 0.0 0.0 0.7 11 18  
 1 4  
 -1 0 0 -1 1 21 3 7 8 9 1 21 0 0 1 7 1 9 0 4 7 8 9 21 -1 0 0 2 8 9 3 7 8 9 0 -1 0 0 -1 1 21  
 137.0 0.0 8.6 25.5 0.0 25.5 14.6 90.0 180.0 59.0 90.0 0.7 18 11  
 1 5  
 0 -1 1 20 1 20 -1 3 7 8 9 0 1 7 1 7 1 7 2 7 9 0 3 7 8 9 0 -1 -1 -1 -1 1 20 0 -1 1 20 1 20 -1  
 90.0 0.0 0.8 47.0 0.0 47.0 20.5 90.0 0.0 90.0 90.0 20 10  
 2 17 18 3 17 18 24 4 17 18 20 24 4 17 18 20 24 2 17 18 0 2 8 18 3 7 17 18 3 7 17 18 0 0 2 17 18 0  
 17 18 20 24 5 7 17 18 20 24 0 0 1 20 2 17 18 3 17 18 24 4 17 18 20 24 4 17 18 20 24 2 17 18  
 60.3 24.9 6 50.0 1 0.1  
 3 4 1 30 12 13 1  
 0.9 0.1

TOINEN KERROS OSA2: Pohjoinen osa kauppakäytävästä ja sylinteri

2 2 4 1 0  
 5 0 0 14 5 1 0



90.0 0.0 5.3 78.0 0.0 78.0 3.3 90. 180. 90.0 0.0 0.166 3  
 -1 0 -1 -1 1 21 2 8 10 1 10 2 10 21 2 10 21 0 0 -1 0 2 9 10 2 10 21 2 10 21 -1 -1 3 8 9 10 -1 0 -1 -1  
 0 1.0 0.63 0.05 0  
 90.0 0.0 8.6 78.0 0.0 78.0 14.6 90. 180. 59.0 90.0 0.133 6  
 0 -1 1 20 1 20 -1 2 8 10 1 10 1 10 1 10 0 0 -1 1 20 2 9 10 -1 -1 -1 -1 3 8 9 10 0 -1 1 20 1 20 0  
 0 1.0 0.63 0.05 0  
 100.8 -7.5 5.3 13.11 0.0 13.11 15.0 90. 145.1 0.0 0.0 0.113 15  
 -1 1 12 -1 0 0 1 8 -1 0 0 1 12 -1 0 0 4 8 9 10 12 0 0 -1 -1 3 8 9 10 -1 1 12 -1 0 0  
 0 1.0 0.63 0.05 0  
 111.5 0.0 5.3 13.11 0.0 13.11 15.0 90. 214.9 0.0 0.0 0.113 15  
 -1 2 12 22 0 -1 0 1 8 -1 0 0 2 12 22 -1 0 0 5 8 9 10 12 22 0 0 -1 -1 3 8 9 10 -1 2 12 22 0 -1 0  
 0 1.0 0.63 0.05 0  
 111.5 12.5 20.3 4.2 0.0 11.7 12.5 180. 0.0 90. -90. 0.114 13  
 1 12 -1 0 0 -1 -1 1 10 0 0 1 12 1 12 0 0 4 8 9 10 12 0 0 -1 -1 3 8 9 10 1 12 -1 0 0 -1  
 0 1.0 0.63 0.05 0  
 111.5 20.5 0.0 8.0 0.0 8.8 4.4 90.0 -90.0 0.0 0.0 0.716 8  
 1 18 1 18 1 18 1 18 -1 -1 0 -1 1 18 -1 1 17 1 18 0 0 1 18 1 18 0 0 0 1 18 1 18 1 18 1 18 -1  
 8.5 12.5 0.0 8.0 0.0 8.0 4.0 90.0 90.0 0.0 0.0 0.716 8  
 1 17 1 17 -1 3 17 20 21 1 17 0 -1 1 17 -1 -1 -1 -1 1 20 0 2 17 21 3 17 20 21 0 0 0 1 17 1 17 -1  
 3 17 20 21 2 17 21  
 111.5 17.0 4.0 11.65 0.0 11.65 16.3 90.0 -22.7 0.0 0.0 0.710 20  
 2 9 12 2 9 12 0 0 0 -1 -1 -1 0 -1 -1 0 0 2 9 12 0 0 -1 -1 1 9 2 9 12 2 9 12 0 0 0  
 90.0 12.5 0.0 11.65 0.0 11.65 16.3 90. 22.7 0. 0. 0.710 20  
 1 12 1 12 0 0 0 1 8 -1 0 -1 -1 -1 0 0 2 8 12 0 0 -1 -1 1 8 1 12 1 12 0 0 0  
 8.5 12.5 4.0 81.5 0.0 81.5 12.1 90. 0.0 0. 0. 0.733 6  
 0 0 2 20 21 2 20 21 1 21 -1 -1 -1 -1 -1 0 -1 1 20 0 1 21 1 21 -1 -1 -1 0 0 2 20 21 2 20 21 1 21  
 8.5 12.5 0.0 16.1 0.0 8.6 12.5 0. 0.0 90. -90. 0.720 10  
 0 0 -1 2 20 21 1 21 2 8 10 -1 2 10 21 -1 0 -1 -1 1 20 1 10 1 21 1 21 1 10 2 8 10 2 8 10 0 0 -1 2 2  
 90.0 0.0 20.3 11.7 0.0 4.2 12.5 180. 0.0 90. 90. 0.714 13  
 -1 -1 0 0 0 1 8 -1 0 0 -1 -1 -1 0 2 8 9 0 0 -1 -1 2 8 9 -1 -1 0 0 0  
 90.0 0.0 0.0 13.11 4.53 17.64 12.3 90.0 -34.9 90.0 55.1 0.217 11  
 1 22 1 22 0 0 0 0 1 22 0 0 1 22 1 22 0 -1 -1 0 0 1 22 0 1 22 1 22 1 22 0 0 0  
 8.5 0.0 0.0 103.0 0.0 103.0 20.5 90. 0.0 90.0 90.0 0.240 5  
 1 17 2 17 18 4 17 18 20 21 4 17 18 20 21 3 17 18 21 0 0 4 10 17 18 21 4 10 17 18 21 2 9 17 1 17 3 1  
 5 10 17 18 20 21 5 10 17 18 20 21 0 0 0 0 3 9 17 18 4 17 18 20 21 4 17 18 20 21 3 17 18 21  
 100.8 17.0 20.3 24.5 4.5 17.0 10.75 90. -90.0 90. 180. 0.120 10  
 3 9 12 22 -1 0 0 0 1 8 -1 0 0 3 9 12 22 -1 0 0 5 8 9 10 12 22 -1 -1 -1 -1 3 8 9 10 3 9 12 22 -1 0  
 111.5 -7.5 20.3 24.5 7.5 20.0 10.75 90. 90. 90.0 0.0 0.120 10  
 3 9 12 22 -1 0 0 0 1 8 -1 0 0 3 9 12 22 -1 0 0 5 8 9 10 12 22 -1 -1 -1 -1 3 8 9 10 3 9 12 22 -1 0  
 8.5 20.5 4.0 100.6 0.0 81.5 8.0 90.0 0.0 90.0 -90.0 0.650 4  
 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 0 -1 1 20 0 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 0 0 1 18  
 111.5 20.5 4.0 8.0 0.0 3.5 10.75 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.6820  
 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 -1 0 -1 0 0 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 0 0 0  
 8.5 20.5 0.0 103.0 0.0 103.0 4.0 90.0 0.0 0.0 0.0 0.765 3  
 2 17 18 2 17 18 2 17 18 2 17 18 2 17 18 0 0 -1 -1 -1 2 17 18 2 17 18 1 20 0 2 17 18 2 17 18 0  
 0 -1 2 17 18 2 17 18 2 17 18 2 17 18 2 17 18  
 90.0 0.0 0.0 81.5 0.0 81.5 8.6 90.0 180.0 0.0 0.0 0.733 6  
 1 1  
 -1 0 -1 -1 1 21 2 10 21 1 10 2 10 21 2 10 21 0 0 -1 0 3 8 9 10 2 10 21 2 10 21 2 9 10 2 8 10  
 3 8 9 10 -1 0 -1 -1 1 21  
 90.0 0.0 8.6 81.5 0.0 81.5 14.6 90. 180. 59.0 90.0 0.733 6  
 1 2  
 0 -1 1 20 1 20 -1 2 8 10 1 10 1 10 1 10 0 0 -1 1 20 2 9 10 -1 -1 -1 -1 3 8 9 10 0 -1 1 20 1 20 0  
 90.0 -7.5 0.0 13.11 0.0 13.11 20.3 90.0 145.1 0.0 0.0 0.710 20  
 1 3  
 -1 1 12 -1 0 0 1 8 -1 0 0 1 12 -1 0 0 4 8 9 10 12 0 0 -1 -1 4 8 9 10 12 -1 1 12 -1 0 0  
 111.5 0.0 0.0 13.11 0.0 13.11 20.3 90.0 214.9 0.0 0.0 0.710 20  
 1 4

-1 2 12 22 0 -1 0 1 8 3 10 12 22 0 0 2 12 22 2 12 22 0 0 5 8 9 10 12 22 0 0 -1 -1 4 8 9 10  
 12 -1 2 12 21 0 -1 0  
 111.5 12.5 0.0 12.5 0.0 12.5 20.3 90.0 -90.0 0.0 0.0 0.1 10 20  
 1 5  
 1 12 1 12 0 0 -1 -1 2 9 12 0 0 1 12 1 12 0 0 4 8 9 10 12 0 0 -1 -1 4 8 9 10 12 1 12 1 12 0 0 -1  
 8.5 0.0 0.8 103.0 0.0 103.0 20.5 90. 0.0 90.0 90.0 21 9  
 1 17 2 17 18 4 17 18 20 21 4 17 18 20 21 3 17 18 21 0 0 4 10 17 18 21 4 10 17 18 21 2 9 17 1 17 3 1  
 0 5 10 17 18 20 21 5 10 17 18 20 21 0 0 0 0 3 9 17 18 4 17 18 20 21 4 17 18 20 21 3 17 18 21  
 60.3 24.9 6 50.0 1 0.1  
 3 12 9 30 12 16 4  
 0.9 0.1

### TOINEN KERROS OSA 3: Eteläinen osa kauppakäytävästä ja sylinteri ilman ikkunoita

2 2 3 1 0  
 3 0 0 16 3 1 0  
 137.0 0.0 5.3 25.5 0.0 25.5 3.3 90.0 180.0 0.0 0.0 0.1 31 4  
 -1 0 1 21 -1 -1 -1 3 8 9 10 0 1 21 1 21 1 8 1 10 3 8 9 10 0 1 21 1 21 -1 -1 0 -1 0 1 21  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 137.0 0.0 8.6 25.5 0.0 25.5 14.6 90.0 180.0 59.0 90.0 0.1 20 10  
 0 -1 0 1 20 1 20 -1 3 8 9 10 0 1 8 1 8 1 8 2 8 10 3 8 9 10 0 -1 -1 -1 -1 1 20 0 -1 1 21  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 90.0 0.0 20.3 11.7 0.0 4.2 12.5 180.0 0.0 90.0 90.0 0.1 14 13  
 1 6 -1 -1 0 0 0 3 8 9 10 1 6 0 0 1 8 -1 4 6 8 9 10 1 6 0 0 -1 -1 0 1 6 -1 -1  
 0 1.0 0.6 0.1 0  
 90.0 -7.5 0.0 13.1 0.0 13.1 20.3 90.0 145.1 0.0 0.0 0.7 10 20  
 -1 2 5 6 0 -1 0 0 3 8 9 10 2 5 6 0 0 2 6 8 1 10 5 5 6 8 9 10 2 5 6 0 0 -1 -1 0 -1 2 5 6 0  
 111.5 0.0 0.0 13.1 0.0 13.1 20.3 90.0 214.9 0.0 0.0 0.7 10 20  
 -1 1 6 0 0 -1 0 3 8 9 10 1 6 0 0 -1 1 10 4 6 8 9 10 -1 0 0 -1 -1 0 -1 1 6 0  
 111.5 12.5 20.3 4.2 0.0 11.7 12.5 180.0 0.0 90.0 -90.0 0.7 14 13  
 -1 -1 0 0 0 -1 2 9 10 -1 0 0 -1 1 10 2 9 10 -1 0 0 -1 -1 0 -1 -1 0  
 90.0 20.5 0.0 47.0 0.0 47.0 4.0 90.0 0.0 0.0 0.0 0.7 44 4  
 -1 -1 2 17 18 2 17 18 2 17 18 2 17 18 -1 -1 -1 -1 0 0 0 2 17 18 2 17 18 2 17 18 0 0 1 20 2 17 18 -1 2  
 111.5 12.5 4.0 25.5 0.0 25.5 12.1 90.0 0.0 0.0 0.0 0.7 18 11  
 0 0 1 21 1 21 1 21 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0 0 2 20 21 2 20 21 -1 -1 1 20 0 0 1 21  
 100.8 17.0 4.0 11.7 0.0 11.7 16.3 90.0 -22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 1 6 1 6 0 0 0 0 -1 -1 -1 0 -1 1 10 2 6 10 0 0 0 -1 -1 0 1 6 1 6 0  
 90.0 12.5 4.0 11.7 0.0 11.7 16.3 90.0 22.7 0.0 0.0 0.7 10 20  
 2 6 9 2 6 9 0 0 0 0 -1 -1 0 -1 -1 0 2 6 9 1 9 0 0 -1 -1 0 2 6 9 2 6 9 0  
 137.0 20.5 0.0 8.0 0.0 8.0 4.0 90.0 -90.0 0.0 0.0 0.7 16 8  
 1 18 1 18 2 17 18 3 18 20 21 -1 -1 0 -1 -1 1 18 -1 0 0 -1 2 18 21 2 18 21 0 0 1 20 1 18 1 18 2 17 18  
 90.0 -12.5 0.0 8.0 0.0 8.0 4.0 90.0 90.0 0.0 0.0 0.7 16 8  
 1 17 2 17 18 -1 1 17 1 17 1 17 0 -1 1 17 -1 0 -1 0 2 17 18 1 17 2 17 18 0 0 0 1 17 2 17 18 -1  
 90.0 0.0 0.0 47.0 0.0 47.0 20.5 90.0 0.0 90.0 90.0 0.2 20 10  
 2 17 18 2 17 18 3 17 18 21 4 17 18 20 21 4 17 18 20 21 3 17 18 21 0 2 9 18 3 8 17 18 3 8 17 18  
 0 0 -1 1 18 5 8 17 18 20 21 5 8 17 18 20 21 0 0 -1 2 17 18 2 17 18 3 17 18 21  
 137.0 0.0 0.0 8.6 0.0 16.1 12.5 0. 0.0 90. 90. 0.7 16 12  
 0 0 1 21 2 20 21 -1 -1 3 8 9 10 0 2 8 21 2 8 21 -1 2 8 10 1 8 -1 3 8 20 21 3 8 20 21 3 8 9  
 10 2 8 9 1 20 0 0 1 21  
 100.8 17.0 20.3 24.5 4.5 17.0 10.8 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.1 22 9  
 2 5 6 -1 0 0 0 0 2 9 10 3 5 6 9 0 0 1 8 1 10 5 5 6 8 9 10 1 5 -1 -1 -1 -1 0 2 5 6 -1 0  
 111.5 -7.5 20.3 24.5 7.5 20.0 10.8 90.0 90.0 90.0 0.0 0.1 22 9  
 2 5 6 -1 0 0 0 0 2 9 10 3 5 6 9 0 0 -1 1 10 5 5 6 8 9 10 1 6 -1 -1 -1 -1 0 2 5 6 -1 0  
 100.8 20.5 4.0 3.5 0.0 8.0 10.75 90.0 -90.0 90.0 180.0 0.6 12 16  
 -1 -1 -1 0 0 -1 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 -1 -1 -1 -1 0 0 -1 0  
 137.0 12.5 4.0 25.5 0.0 44.61 8.0 90.0 180.0 90.0 90.0 0.6 33 6  
 -1 -1 -1 0 0 -1 0 -1 -1 -1 0 0 0 0 -1 -1 -1 -1 1 20 0 -1 0  
 90.0 0.0 0.0 13.11 4.53 17.64 12.3 90.0 -34.9 90.0 55.1 0.2 17 11



1 5 1 5 0 0 0 0 1 5 1 5 0 0 1 5 0 -1 1 5 0 0 0 1 5 -1 1 2 3 1 2 3 0  
 137.0 0.0 0.0 25.5 0.0 25.5 8.6 90.0 180.0 0.0 0.0 0.7 25 8

1 1

-1 0 1 2 1 -1 -1 -1 3 8 9 10 0 1 2 1 0 1 8 1 10 2 8 9 0 1 2 1 1 2 1 2 9 10 3 8 9 10 0 -1 0 1 2 1  
 137.0 0.0 8.6 25.5 0.0 25.5 14.6 90. 180.0 59.0 90.0 0.7 18 11

1 2

0 -1 -1 1 2 0 1 2 0 -1 3 8 9 10 0 1 8 1 8 1 8 2 8 10 3 8 9 10 0 -1 -1 -1 -1 1 2 0 0 -1 0  
 90.0 0.0 0.0 12.5 0.0 12.5 20.3 90.0 90.0 0.0 0.0 0.1 11 18

1 3

1 6 1 6 -1 0 0 0 3 8 9 10 1 6 0 0 2 8 9 -1 3 8 9 10 1 6 0 0 2 9 10 3 8 9 10 0 1 6 1 5 -1  
 90.0 0.0 0.8 47.0 0.0 47.0 20.5 90.0 0.0 90.0 90.0 20 10

2 17 18 2 17 18 3 17 18 21 4 17 18 20 21 4 17 18 20 21 3 17 18 21 0 2 9 18 3 8 17 18 3 8 17 18  
 0 0 0 1 18 5 8 17 18 20 21 5 8 17 18 20 21 0 0 1 20 2 17 18 2 17 18 3 17 18 21

60.3 24.9 6 50.0 1 0.1

3 12 9 30 12 16 4

0.9 0.1

LIITE 13 VUODENAIKOJA EDUSTAVIEN KUUKAUSIEN PÄIVÄNVALON  
KÄYTETTÄVYYSKERTOIMET ERI SÄÄTÖTAVOILLE  
SÄÄTÖALUEITTAIN.

SÄÄTÖALUE 1

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,00	0,93	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,71	0,71	0,07	0,78	0,71	0,07	0,78
joulukuu	0,29	0,29	0,17	0,46	0,29	0,14	0,43
vuosi	0,66	0,66	0,05	0,71	0,66	0,11	0,77

SÄÄTÖALUE 2

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,07	1,00	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,76	0,76	0,00	0,76	0,76	0,07	0,83
joulukuu	0,43	0,43	0,00	0,43	0,43	0,00	0,43
vuosi	0,71	0,71	0,02	0,73	0,71	0,05	0,76

SÄÄTÖALUE 3

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,07	1,00	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,71	0,71	0,07	0,78	0,71	0,14	0,85
joulukuu	0,43	0,43	0,00	0,43	0,43	0,00	0,43
vuosi	0,70	0,70	0,04	0,74	0,70	0,07	0,77

SÄÄTÖALUE 4

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,00	0,93	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
joulukuu	0,29	0,29	0,14	0,43	0,29	0,14	0,43
vuosi	0,66	0,66	0,04	0,70	0,66	0,09	0,75



## SÄÄTÖALUE 5

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,07	1,00	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,79	0,79	0,00	0,79	0,79	0,07	0,86
joulukuu	0,43	0,43	0,00	0,43	0,43	0,00	0,43
vuosi	0,71	0,71	0,02	0,73	0,71	0,05	0,76

## SÄÄTÖALUE 6

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,64	0,64	0,00	0,64	0,64	0,14	0,78
kesäkuu	0,86	0,86	0,07	0,93	0,86	0,14	1,00
syyskuu	0,64	0,64	0,07	0,71	0,64	0,14	0,78
joulukuu	0,00	0,00	0,29	0,29	0,00	0,43	0,43
vuosi	0,54	0,54	0,11	0,65	0,54	0,21	0,75

## SÄÄTÖALUE 7

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,00	0,93	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,79	0,79	0,07	0,86	0,79	0,14	0,93
joulukuu	0,43	0,43	0,14	0,57	0,43	0,14	0,57
vuosi	0,71	0,71	0,05	0,76	0,71	0,11	0,82

## SÄÄTÖALUE 8

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,64	0,64	0,07	0,71	0,64	0,07	0,71
kesäkuu	0,93	0,93	0,00	0,93	0,93	0,14	1,07
syyskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,14	0,85
joulukuu	0,29	0,29	0,00	0,29	0,29	0,14	0,43
vuosi	0,64	0,64	0,02	0,66	0,64	0,13	0,77

## SÄÄTÖALUE 9

Aika	Säätötapa						
	on/off PVK	3-port PVKk	PVKt	PVK	jatkuva PVKk	PVKt	PVK
maaliskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,07	0,78
kesäkuu	0,93	0,93	0,00	0,93	0,93	0,07	1,00
syyskuu	0,71	0,71	0,00	0,71	0,71	0,14	0,85
joulukuu	0,29	0,29	0,14	0,43	0,29	0,14	0,43
vuosi	0,66	0,66	0,04	0,70	0,66	0,11	0,77